

## **1. Ziel der Arbeiten**

### **1.1 Anlass für den Forschungsantrag**

Im Bereich der technischen Textilien, als eine große Gruppe textiler Anwendungen mit einem hohen Wachstumspotential in Deutschland, findet man zunehmend Anwendungen, die bei Extremsituationen hohen Krafteinwirkungen bei gleichzeitig hohen Krafteinleitungsgeschwindigkeiten standhalten müssen. Diese hohe Beanspruchbarkeit von textilen Materialien ist für die Lebensdauer von Produkten nicht entscheidend, aber als entscheidendes Kriterium funktionaler Bauteile für Menschenleben sicherheitsrelevant. Zu diesen typischen Anwendungen gehören Sicherheitsgurte, Fallschirme, Airbags, textile Bausysteme für extreme Wetterlagen sowie Komponenten von Schutzbekleidungssystemen als ballistischer oder Schnitenschutz. Hier wirken im Extremfall hohe dynamische Kräfte, denen ausreichend Widerstand geboten werden muss. In der Regel bestehen solche textilen Systeme aus mehreren Komponenten, die durch textile Nähte miteinander verbunden werden. Diese Nahtsysteme sind technologiebedingt anders als die miteinander sicher zu verbindenden textilen Komponenten konstruiert. Als schwächstes Glied im konfektionierten Gesamtsystem bergen sie damit ein hohes Gefahrenpotential.

Bisher wurden textile Nahtverbindungen meist nur mit quasistatischen Prüfungen überprüft und getestet. Die Prüfgeschwindigkeiten des klassischen Zugversuchs an Nähten liegen hier im Bereich von lediglich 200 mm/min.

Um das Versagensverhalten auch bei hohen Geschwindigkeiten  $> 10$  m/s zu untersuchen, werden derzeit noch die konfektionierten Gesamtsysteme in dem jeweiligen Praxisfall extrem nah simulierenden Testreihen (wie z. B. das Zünden eines Airbags, Fahrzeugcrashes mit Dummies, Beschuss ballistischer Schutzsysteme, Abschuss von Schleudersitzen mit Rettungsfallschirm u. a.) getestet und bezüglich ihres Versagensverhaltens bewertet. Diese Praxistests sind sehr kostenintensiv und aufwändig. Abhilfe können hier nur apparative Prüfungen bringen, die hohe Krafteintragungsgeschwindigkeiten realisieren können.

Derartige Prüfapparaturen sind auf dem Markt vorhanden. Wissenschaftliche Veröffentlichungen beziehen sich aber vorrangig nur auf die Prüfung von textilen Fasern, durchgeführt an unterschiedlich funktionierenden Hochgeschwindigkeitsprüfmaschinen. Normen zur Verfahrensweise und deren Anwendung für Garne, Gewebe und textile Nahtverbindungen waren und sind überhaupt nicht bekannt.

## **1.2 Aufgabenstellung**

Wenn es um die Funktion bei Airbaggeweben und Nähten geht, werden keine Kompromisse eingegangen, denn der Airbag muss zu jederzeit und bei allen Bedingungen seine Funktion erfüllen. Bei der Airbag- Nahtentwicklung wird empirisch vorgegangen durch Aufblasversuche. Hierbei kann lediglich die Haltbarkeit oder ein Bruch festgestellt werden. Es existiert keine genormte dynamische Zug-Prüfmethode, bei der mit realen Geschwindigkeiten geprüft werden kann und zahlenmäßig vergleichbare Ergebnisse erhältlich sind.

Vor diesem Hintergrund bestand im Projekt folgende **Aufgabenstellung**:

- Ermittlung der apparativen Prüfbedingungen zur dynamischen Zugprüfung von Geweben und Nahtverbindungen bei hohen Prüfgeschwindigkeiten,
- Erarbeitung von konkreten Prüfbedingungen für den Anwendungsfall Airbag zur Reduzierung kostenintensiver Praxissimulationen sowie
- die Erarbeitung konstruktiv und materialseitig entscheidender Parameter für eine sichere Nahtauslegung.

**Grundlage und Ansätze** dafür waren die im AiF-Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG ermittelten Erkenntnisse und Ergebnisse zur Untersuchung des visko-elastischen Materialverhaltens an ausgewählten Hochleistungsgarnen (auf Basis PA 6.6, PA 4.6 und PET). Mit dem in diesem Vorläuferprojekt optimierten Hochgeschwindigkeitszug-Prüfstand, bestehend aus einer servohydraulischen Prüfmaschine Zwick HTM 2008 , speziell entwickelten Fadenklemmen und einer Temperaturkammer, ist es im TITK erstmals gelungen, Hochleistungsgarne bei hohen dynamischen Belastungen zu prüfen. An diesem Prüfstand sind folgende Parameter einstellbar:

- direkte Auswertung von dynamischen KD- Kurven
- Prüfungen bis minimal 30 mm Einspannlänge an Garnen
- Prüfungen im Geschwindigkeitsbereich 0,5 m/s bis 10 m/s
- Einstellung eines Dehnratenbereiches von 1 bis 500 s<sup>-1</sup>
- Einsatz der Temperaturkammer im Temperaturbereich von -40 °C bis 85 °C.

Diese im TITK vorhandene Prüftechnik wurde nun im Rahmen des Projektes für die Prüfung an Nähgarnen, Geweben und Nahtverbindungen genutzt und entsprechend weiterentwickelt.

Am Beispiel des Produktes "Airbag" wurde der Einfluss von 2 Nahttypen und Garntypen auf die dynamische Belastbarkeit apparativ bei hohen Prüfgeschwindigkeiten näher untersucht. Untersuchungsschwerpunkte waren dabei Nähgarntyp, Nähstichtyp sowie die zu verbindenden Gewebekomponenten, die bei unterschiedlichen Prüfbedingungen (Prüfgeschwindigkeit, Einspannlänge, Probenanordnung) definiert untersucht wurden. Zur Ermittlung korrelativer Zusammenhänge dienten parallel vorgenommene quasistatische Prüfungen.

*Das für die vorliegende Fragestellung relevante Parameterfeld hohe Prüfgeschwindigkeit, hohe dynamische Belastung und hohe Dehnrate war nur mittels des im TITK vorhandenen Hochgeschwindigkeitsprüfstandes realisierbar.*

## **2. Stand der Technik**

### **2.1 Allgemeine Bedeutung von Airbagsystemen im Automobil**

Das Auto ist aus der modernen Industrie- und Wissensgesellschaft nicht mehr wegzudenken, für viele Menschen ist es Existenzgrundlage geworden und sichert die tägliche Mobilität. Die deutsche Automobilindustrie steht an der Spitze des internationalen Wettbewerbs. Sie beschäftigt im Jahresdurchschnitt in Deutschland 750.000 Menschen und tätigt einen Umsatz von über 330 Mrd. Euro. Mehr als 20 Mrd. Euro werden in Forschung und Entwicklung investiert. [1] Die wachsenden Anforderungen der Gesellschaft an Umweltverträglichkeit und Sicherheit des Automobils führen zu einschneidenden Veränderungen. Neben Verbesserungen des konventionellen Gurtsystems ist vor allem das Airbagsystem geeignet, das Verletzungsrisiko beim Frontalaufprall weiter zu vermindern.

Die Idee eines Airbags zum Schutz von Insassen eines Fahrzeugs wurde 1953 in den USA patentiert. [2] In den Jahren 1972 bis 1975 wurden einige 10.000 Fahrzeuge in den USA mit Fahrer- sowie Beifahrerairbags als Option ausgerüstet, allerdings vom Markt kaum angenommen. Seit Anfang der achtziger Jahre wurden erneut bei einigen wenigen Oberklassefahrzeugen Airbagmodule auf der Fahrerseite als Sonderausstattung angeboten. Der große Durchbruch kam als die amerikanische Gesetzgebung für 1990 den Einsatz eines Airbags auf der Fahrerseite vorschrieb [3]. Kurze Zeit später war in den USA auch der Einsatz eines Beifahrerairbags bei allen PKW sowie leichten LKW vorgeschrieben. Pro Jahr werden in Personenkraftwagen weltweit ca. 24 Mio. Fahrerairbagmodule verbaut, davon etwa 10 Mio. in Westeuropa,

ca. 8,5 Mio. in Nordamerika und weiter ca. 2,5 Mio. in Japan. Beifahrermodule werden weltweit ca. 18 Mio. Einheiten verbaut, davon etwa 7 Mio. in Westeuropa, ca. 8 Mio. in Nordamerika und ca. 2 Mio. in Japan [3]. Ein ähnlich hohes Wachstumspotential ist bei Seitenairbags und Knieairbags zu verzeichnen. Allgemein schützen Airbags bei einem Frontalaufprall den Oberkörper, Hals und Kopf der Fahrzeuginsassen. Das Risiko schwerer Kopf- und Brustverletzungen nimmt deutlich ab [4].

## 2.2 Aufbau eines Airbagmoduls [3, 4, 5]

Das Airbagsystem besteht grundsätzlich aus Sensoren, elektronischer Steuerung, Überwachung, Zündauslösung und dem Airbagmodul. Ein Airbagmodul besteht wiederum aus den Grundkomponenten Gasgenerator, Gehäuse, Luftsack, Luftsackbefestigung und Abdeckkappe (kann beim Beifahrermodul Teil des Lieferumfangs der Instrumententafel sein). Der Gasgenerator ist mit jeweils ca. 50% die schwerste und teuerste Komponente des Airbagmoduls. Es gibt grundsätzlich zwei Technologien, die sogenannten pyrotechnischen und die Hybrid- Gasgeneratoren.

Bei den pyrotechnischen Gasgeneratoren wird ein Festtreibstoff gezündet, der zu einem Gas verbrennt. Das Verbrennungsprodukt strömt durch aufwendige Filter, die einen Großteil der Feststoffe (Schlacke) zurückhalten und das Gas kühlen, in den Luftsack. Vorteil ist das geringe Gewicht des Gasgenerators, Nachteil die hohe Gastemperatur, der hohe Anteil an unerwünschten chemischen Verbindungen, sowie ein großer Anteil von Feststoffpartikeln im Gas.

Bei den Hybridgasgeneratoren wird ein Gas, üblicherweise Argon, unter hohem Druck in einem Behälter gespeichert. Eine geringe Menge Treibmittel wird gezündet und erhitzt das Gas. Dies führt zum Öffnen des Gastanks und dem Ausströmen des Gases in den Luftsack.

Der Luftsack macht nur ca. 10% bis 20% des Modulgewichtes aus. Sein Gewicht ist aber von besonderer Bedeutung, da es zusammen mit dem Gasgewicht die dynamische Masse bildet, die in Richtung des Insassen beschleunigt wird.

Beim Aufprall werden die Fahrzeugverzögerung und deren Dauer bewertet. Nach Überschreitung bestimmter Grenzwerte werden erst die Gurtstraffer (niedriger Grenzwert) und dann der Airbag (hoher Grenzwert) aktiviert. Die Zündung erfolgt etwa 30- 40 Millisekunden nach dem Aufprall mit einer Geschwindigkeit von 15 - 25 km/h (unterschiedliche Angaben der Hersteller). Die Entfaltung bzw. das Auslösen des Luftsacks erfolgt in drei verschiedenen Phasen: der Ausschussphase, Aufblasphase und Eintauchphase. Die Zeiten der angegebenen Phasen können sich je nach Charakteristik des Gasgenerators sowie verschiedener Luftsackparameter deutlich



ändern. In der Regel beginnt der Ausschussvorgang ca. 3 Millisekunden nach dem Zündzeitpunkt, die maximale Ausschussdistanz wird nach ca. 15 Millisekunden erreicht. Bei Ausschussdistanzen von 400 mm bis 8 mm je nach Luftsackkonstruktion und Faltung ergeben sich Spitzengeschwindigkeiten von über 300 km/h. Bei einer stark vereinfachten Betrachtung, bei der vor allem die Geschwindigkeit über die Luftsackoberfläche unberücksichtigt bleibt, ergibt sich bei einem Luftsackgewicht auf der Beifahrerseite von bis zu 500 g sowie einem Gasgewicht von 100 g eine kinetische Energie von 2067 J. Zum Vergleich, die kinetische Energie oder Geschossenergie einer Pistolenkugel liegt im Bereich von 384 J (9mm Luger) bis 926 J (357. Magnum).

### **2.3 Allgemeine Anforderungen an Airbaggewebe und Nähte [3, 4, 6]**

Während des Auslösens, Aufblasens und Entleeren ist der Airbag- Luftsack einer hohen thermischen Beanspruchung (durch hohe Temperaturen des Gases aus dem Generator und mit fliegende Partikel) und einer hohen dynamischen Beanspruchung ausgesetzt. Das für den Airbag verwendete textile Gewebe und Nahtmaterial muss daher einen hohen Schmelzpunkt und eine hohe spezifische Wärmekapazität (Sicherheit gegen Durchbrennen) aufweisen. Um der hohen Explosionsenergie standhalten zu können, müssen die textilen Materialien und Nahtkonstruktionen neben einer hohen Reißfestigkeit auch eine ausreichende Dehnung und einen niedrigen Anfangs- E- Modul besitzen. Lokal auftretende Spannungsspitzen können dadurch über einen größeren Bereich verteilt und ein Reißen wegen zu hoher Belastung somit vermieden werden. Damit der Airbag im Zündungsfall schnell aufgeblasen werden kann, muss dieser leicht sein, d. h., das verwendete Material muss eine geringe Dichte aufweisen.

Die ersten Luftsäcke bestanden aus schweren 940 dtex PA 6,6, in der Einstellung 10/10, beschichtet mit Polychloroprene und Flächengewichten von bis zu 500g pro m<sup>2</sup>. Die damals verfügbaren Gasgeneratoren erzeugten sehr heißes Gas und schleuderten Abbrandprodukte bis zum Durchmesser von mehreren Millimetern in den Bag. Die Nachteile dieses Gewebes waren das hohe Gewicht sowie die Gesamtdicke und das damit verbundene hohe Packvolumen.

Mit zunehmender Erfahrung sowie der Verbesserung der Gasgeneratoren wurden feinere Titer verwendet, vor allem 700 dtex sowie 470 dtex in der Einstellung 16/16, die auf der Innenseite nach wie vor mit Polychloropren beschichtet sind. Geringeres Flächengewicht und weniger Steifigkeit sind die Vorteile gegenüber den 940 dtex Geweben.

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Gasgeneratoren, deren Gase kühler wurden sowie Anzahl und Größe der Partikel reduziert werden konnten, war es möglich, auch unbeschichtete Gewebe einzusetzen. Die Vorteile der unbeschichteten Gewebe waren insbesondere deren geringere Kosten, das geringere Packvolumen und Flächengewicht. Der Raummangel in den Lenkrädern, vor allem aber Überlegungen bezüglich der Entsorgung ausgedienter, beschichteter Airbags, führten in Europa zur Entwicklung unbeschichteter Airbags aus Garnen mit einem Titer von 470 dtex.

Nach wie vor sind PA 6 und PA 6,6 die wichtigsten Gewebe- und Nähfadenmaterialien für den Luftsack, auch wenn Materialien wie Kevlar, Polyester oder andere in kleinen Mengen Verwendung finden bzw. deren Einsatz untersucht wird.

## **2.4 Prüfung des Airbags auf seine Funktionssicherheit**

Die Prüfung des Airbags auf seine Funktionssicherheit erfolgt derzeit mittels eines speziellen Prüfprogramms. Im Einzelnen enthält das Prüfprogramm folgende Prüfungen [4, 7]:

- Falltest,
- mechanischer Schocktest bei -35 °C, +20 °C und +85 °C,
- Vibrationsbelastung mit Temperatureinwirkung,
- Klimawechseltest,
- Temperaturschocktest,
- Staubtest,
- Salzsprühnebeltest
- Sonnensimulation und UV- Einwirkung,
- Luftsackprüfung (Reißfestigkeit des Gewebes, Volumeninhalt des Airbags),
- Kannentest bei -35 °C und +85 °C (Prüfung der Gasgeneratoren in einem geschlossenen Druckbehälter) und
- Aufblasprüfung bei -35 °C, +20 °C und +85 °C [4]

Fehlerhafte und nicht funktionssichere Gewebe und Nähte werden grundsätzlich erst bei der Aufblasprüfung, den Crash- Versuchen und Deployment -Tests am Gesamtairbagmodul ermittelt und führen dann direkt zu Ausschuss. Diese Prüfungen sind teuer und aufwendig. Alle anderen oben aufgeführten Prüfungen an den im Airbag eingesetzten Materialien (z. B. Gewebe, Nähte) werden nur unter quasistatischen Bedingungen und /oder im automobilrelevanten Temperaturbereich durchgeführt. Damit ergibt sich eine Lücke zwischen den realen Einsatzbedingungen und den verfügbaren Prüfverfahren an Garnen, Geweben und Nähten.

## 2.5 Derzeitiger Wissensstand zur Prüfung des visko- elastischen Verhaltens an Garnen [7-25]

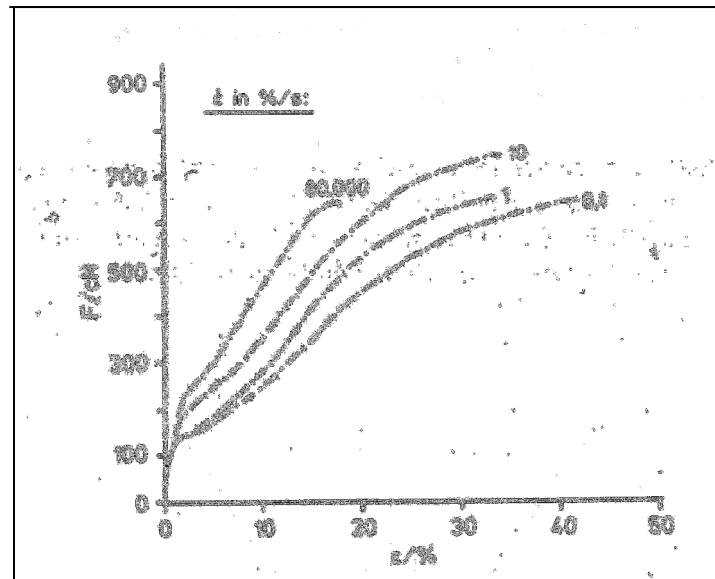
Bekannt ist aber, dass sich die mechanischen und visko- elastischen Eigenschaften von polymeren Werkstoffen mit zunehmenden Dehngeschwindigkeiten deutlich verändern; d. h. anders als z. B. Metalle zeigen diese ein stark zeit- und temperaturabhängiges Materialverhalten. Sie weisen auf Grund ihres nicht linearen Werkstoffverhaltens eine hohe Abhängigkeit von der Zeit und damit von der Deformationsgeschwindigkeit auf. Mit steigender Geschwindigkeit sinkt die Bruchdehnung und steigt der Elastizitätsmodul, der Werkstoff „versprödet“. Es ist daher notwendig, Prüfungen bei Geschwindigkeiten durchzuführen, die auch im Crashfall auftreten. Polymere Werkstoffe weisen aber auch bis ca. 150°C eine höhere Temperaturabhängigkeit auf. Dies bedeutet, dass sich das Materialverhalten im automobilrelevanten Temperaturbereich (-35°C bis + 85°C) stark ändern kann, abhängig von der Glas temperatur des Polymers. Mit steigender Temperatur sinkt der Elastizitätsmodul und steigt die Bruchdehnung.

Bereits in den frühen 60er Jahren wurden vor dem Hintergrund steigender Geschwindigkeiten in textilerzeugenden Prozessen - Weben, Hochleistungsnähen etc. - eingehende Untersuchungen zum visko- elastischen Verhalten von Synthefasern bei hohen Dehngeschwindigkeiten (bis zu  $25 \text{ s}^{-1}$ ) durchgeführt. Aus diesen Untersuchungen ist bekannt, dass das elastische Verhalten von Synthefasern unter diesen Bedingungen nicht mehr dem quasi-statischen Verhalten entspricht, wie es z.B. bei der Prüfung der Zugelastizität nach DIN 53835 mit einer Dehnrates von  $0,01 \text{ s}^{-1}$  vorliegt. Grundsätzliche Ursache hierfür ist, dass das Material bei hohen Dehngeschwindigkeiten keine Fähigkeit hat zu relaxieren, da in derartig kurzen Zeiträumen keine kooperativen Platzwechsel der Makromoleküle möglich sind. Es folgt, dass sich die Anteile der elastischen und plastischen Deformation in Abhängigkeit von der Verformungsgeschwindigkeit deutlich voneinander unterscheiden. Untersuchungen von Stein et al. haben gezeigt, dass sich die plastische Deformation mit steigender Dehnrates verringert. Hieraus resultiert eine Verminderung der Dehnfähigkeit, der E-Modul steigt signifikant an.

Beispielhaft ist dieses Verhalten in **Abbildung 1** für ein Polyestergarn gezeigt. Die Höhe der Eigenschaftsänderung ist dabei stark materialabhängig. Zusätzlich ist bei kurzzeitigen Zugdehnungen zu beobachten, dass die resultierende Deformation anders als bei langsamen Dehnungen nicht gleichmäßig über die Fadenlänge verteilt ist, sondern sich Belastungsspitzen wellenartig ausbreiten.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Ausprägung der Belastungsspitzen ist dabei abhängig von Materialparametern wie Dichte und E-Modul, Parametern der Textilgutkonstruktion wie Fadendrehung, Einbindung etc. und der Dehnrates. [Zitat 8]

Die zuvor resümierten Untersuchungen wurden vor dem Hintergrund der textilen Produktionstechnik durchgeführt, in denen mit der Maschinenentwicklung Dehnraten von einigen  $10 \text{ s}^{-1}$  auftraten. Der heutige Einsatz moderner Hochleistungstextilien ist mit Dehnraten verbunden, die diese um 1 bis 2 Größenordnungen übersteigen.



**Abbildung 1:** Abhängigkeit der Höchstzugkraft von der Dehnungsgeschwindigkeit am Beispiel eines Polyestergarns

Grundlegende Untersuchungen zum Verhalten von Poly(ethyleneterephthalat) (PET) bei sehr hohen Dehnraten wurden von Beier und Schollmeyer durchgeführt. Die Autoren verwendeten zur Charakterisierung des Verhaltens von Multifilamentgarnen eine Fallgewichtsanordnung, bei der Masse des Fallkörpers, Fallhöhe und Länge des Prüflings (Fadenschlaufe) die resultierende Dehnrates definieren. Angestrebt waren Dehnrates von  $1.000 \text{ s}^{-1}$ . Aufgrund der grundsätzlichen Konzeption derartiger Versuche sind gegenseitige Einflüsse zu berücksichtigen. So verringert die zunehmende Zugkraft des gedehnten Fadens die effektive Geschwindigkeit des Fallkörpers signifikant. Beier und Schollmeyer konnten durch eine (optische) Messung der wahren Dehngeschwindigkeit nachweisen, dass im Bereich hoher Dehnrates tatsächlich nur etwa 80 % der rechnerischen Dehngeschwindigkeit erzielt wurden. Es sei darauf hingewiesen, dass der systematische Messfehler der Fallgewichtsmessung bei sehr hohen Dehnungen zunehmend größer wird, da hierbei die Länge der Fadenschlaufe typischerweise gering gehalten wird. [7]

In neuerer Zeit wurden analoge Untersuchungen vor allem vor dem Hintergrund der Entwicklung im Bereich Ballistikwerkstoffe und durch Schlag – oder Stoß hoch beanspruchter Compositbauteile durchgeführt. Wang und Mitarbeiter haben in mehreren Arbeiten das Verhalten von p- Aramid und Polyvinylalkohol (PVA) bei Dehnraten zwischen 140 und 1.500 s<sup>-1</sup> und Temperaturen zwischen -60 und 90 °C untersucht. Bei beiden Materialien hat sich gezeigt, dass der (initiale) elastische Modul nicht von der Dehnrate abhängt, sich Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung mit den Zugbedingungen ändern. Im Falle von PVA erhöhten sich mit der Dehnrate sowohl Höchstzugkraft als auch Höchstzugkraftdehnung. Xiong, Gu und Wang, die ebenfalls PVA bei unterschiedlichen Dehnraten (bis zu 1000 s<sup>-1</sup>) beanspruchten und insbesondere das Auftreten von Mikrorissen untersuchten, geben allerdings an, dass der Initialmodul in einem Bereich bis 180 s<sup>-1</sup> dehnratenabhängig ist und erst bei sehr hohen Dehnraten konstant sei. Godfrey konnte durch seine Untersuchungen nachweisen, dass sich bei hohen Dehnraten der Effekt einer thermo-mechanischen Kopplung, d.h. Umsetzung von Dehnspitzen in thermische Erweichung, in einer nicht gleichförmige Temperaturverteilung über die Faser- bzw. Garnlänge auswirkt.

Vor dem dargestellten Hintergrund ist festzuhalten, dass ein besseres Verständnis der dynamischen Vorgänge in Synthesefasergarnen, von Möglichkeiten zur Optimierung hinsichtlich der Materialauswahl sowie Eigenschaftseinstellungen die Basis für die funktionsgerechte Gestaltung und gezielte Weiterentwicklung textiler Werkstoffe bei hochdynamischen Anwendungen sind.

Grundlage entsprechender Werkstoffgestaltung und -einstellung ist die genaue Kenntnis des visko- elastischen Materialverhaltens bei Dehnraten über mehrere Größenordnungen in Abhängigkeit relevanter Werkstoffparameter. Im in Punkt 1.2 genannten Vorläuferprojekt wurde das Ziel, das visko- elastische Verhalten technischer Garne bei Kurzzeitbeanspruchung mit extremen Dehnraten zu untersuchen, erreicht. Mit dem Prüfstand im TITK ist die Simulation dynamischer Abläufe in realen Vorgängen (z. B. Entfalten eines Airbags) möglich. Mit der HTM 2008 sind folgende Parameter einstellbar:

- direkte Auswertung von dynamischen KD- Kurven
- Prüfungen bis minimal 30 mm Einspannlänge an Garnen
- Prüfungen im Geschwindigkeitsbereich 0,5 m/s bis 10 m/s
- Einstellung eines Dehnratenbereiches von 1 bis 500 s<sup>-1</sup>
- Einsatz der Temperaturkammer im Temperaturbereich von -40 °C bis 85 °C.

Diese Ergebnisse waren die Grundlage für die Bearbeitung des Projektes zur Untersuchung des Versagensverhaltens dynamisch belasteter Nähgarne und Nahtsysteme bei Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung.

## **2.6 Prüfung an Nähgarnen und Airbag-Nahtkonstruktionen** [26-32]

Der Airbag muss zwei Kraftanstrengungen standhalten. Zum ersten der Explosion, bei der der Airbag über den Generator mit Gas gefüllt wird und zweitens dem Aufprall des PKW- Insassen. Die größte Belastung besteht beim Aufblasen; der Aufprall des Menschen ist zu vernachlässigen. Die Gesamtprozedur beträgt beim Beifahrer- Airbag 70 bis 200 Millisekunden.

Bei der Airbag- Nahtentwicklung einschließlich Nähgarnauswahl wird wie oben bereits genannt empirisch vorgegangen durch Aufblasversuche. Es gibt keine genormte dynamische Prüfmethode, bei der mit realen Geschwindigkeiten geprüft werden kann und zahlenmäßig vergleichbare Ergebnisse erhältlich sind. Das gilt prinzipiell für alle Nähte in Technischen Textilien und Produkten, die sicherheitskritisch sind bzw. hohen dynamischen Belastungen ausgesetzt sind.

Dennoch gibt es neben den individuellen produktabhängigen Anforderungen bzw. Qualitätskriterien an Nähgarne und Nahtkonstruktionen eine Reihe von Standard-Qualitätskriterien, die nach genormten Prüfmethoden geprüft werden und die für fast alle Nähte gelten. Ihre Bewertung ist die Basis für die Einschätzung der Qualität. Die nachfolgende **Abbildung 2** zeigt die wichtigsten Standard- Kennwerte.

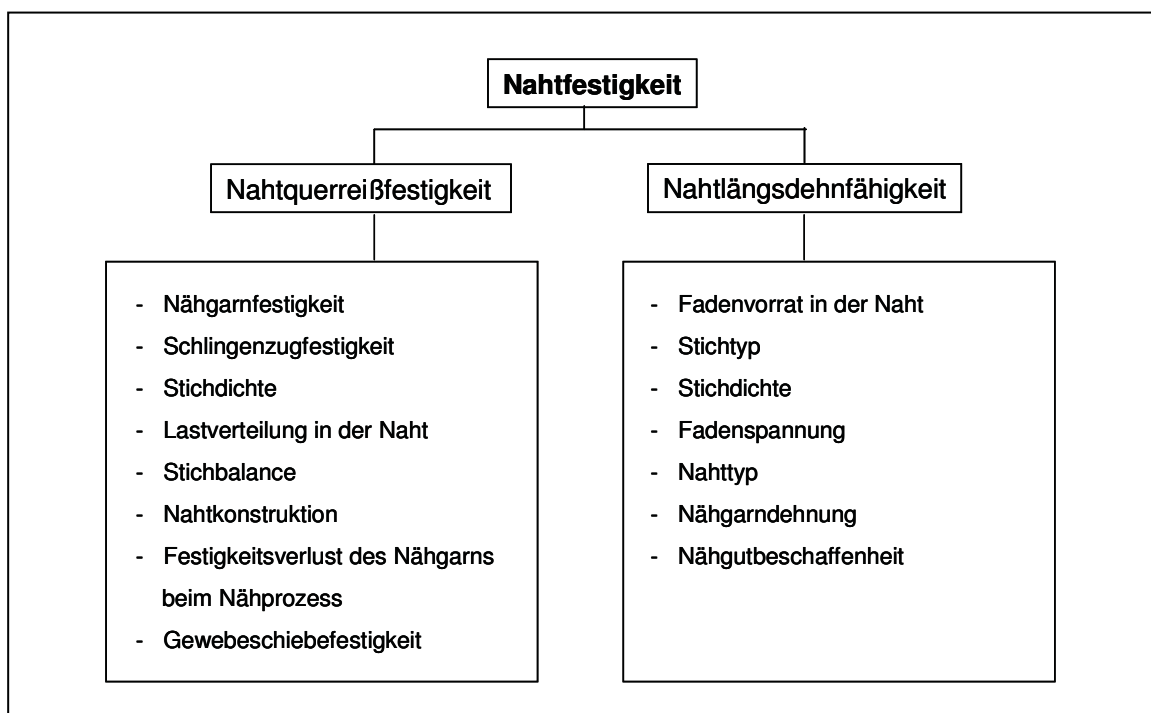


**Abbildung 2:** Kriterien der Nahtqualität

Danach sind die wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Eignung einer Nähnahtverbindung ihre Nahtquerreifestigkeit, Nahtscheuerbeständigkeit und Nahtlngsdehnfhigkeit. Denkbar sind weiterhin Prüfungen der Nahtlngsreifestigkeit und der Nahtquerdehnfhigkeit, die bisher aber praktisch nicht angewandt werden.

Die allgemein die Nahtfestigkeit und -dehnbarkeit mageblich beeinflussenden Parameter sind in **Abbildung 3** aufgeführt.

Die Nahtlngsreifestigkeit ergibt sich näherungsweise aus der Summe der Festigkeiten der in Nahtichtung liegenden Nähfäden. Die längs der Naht wirkenden Kräfte werden aber sowohl von der Naht selbst als auch vom Nähgut aufgenommen.



**Abbildung 3:** Einflussparameter auf Nahtfestigkeit- und Dehnbarkeit

Die Haltbarkeit der Naht bei Beanspruchung in Längsrichtung wird dabei nicht vorrangig von der Nhgarnfestigkeit, sondern vom Verhältnis der Dehnung zwischen Naht und Nähgut bestimmt. Ist die Nahtdehnbarkeit geringer als die Dehnbarkeit des Flächengebildes, muss die Naht die ganze, eigentlich von der Fläche zu tragenden Belastung aufnehmen, die meist groer als die Belastbarkeit der Naht ist. Die Naht reit. Die Naht sollte stets so beschaffen sein, dass sie dehnbarer ist als das Nähgut. Damit entfällt auch eine Prüfung der Nahtlngsfestigkeit. Die Nahtquerdehnfhigkeit sollte nur gering sein, da sie zum sogenannten Nahtklaffen führt, das insbesondere auf einer schlechten Abstimmung der Maschineneinstellparameter auf Nähgarn und



Nähgut zurückzuführen ist. Sie kann im Zusammenhang mit der Bestimmung des Nahtschiebewiderstandes abgeschätzt werden, lässt sich aber nicht als definierter Kennwert ermitteln.

Die Nahtquerreißfestigkeit ist der Widerstand von Nahtverbindungen gegenüber einer Zugbeanspruchung quer zur Naht. Bei der Prüfung wird primär der Nähfaden in der Stichverschlingung belastet. Deshalb beeinflusst die Schlingenzugfestigkeit des Nähfadens vor und nach dem Nähprozess, die von seiner Konstruktion abhängig ist, maßgeblich die Festigkeit der Nahtverbindung. Die Schlingenzugfestigkeit des Nähfadens nach dem Nähprozess kann durch die Schlingenhöchstzugkraft nach dem Nähen angegeben werden. Ist die Nahtquerreißfestigkeit nicht ausreichend, reißen die Nähte beim späteren Gebrauch. Die Nahtquerreißfestigkeit wird durch den Stoff, den Nähfaden und die Nähparameter bestimmt. Das Grundniveau der Nahtfestigkeit legt zunächst die Gewebereißfestigkeit (Kett-, Schuss- und Diagonalrichtung) des Stoffes fest. Daneben entscheidet primär die Auswahl des Nähfadens- seines Rohstoffes, seines Fadentiters und Konstruktion – über die erzielbare Nahtquerreißfestigkeit: Bei der Auswahl der Nähparameter nehmen Stichdichte, Stichtyp und die Fadenverteilung in der Naht großen Einfluss auf die Nahtquerreißfestigkeit.

Zur Bestimmung der Nahtfestigkeit wird die Nahthöchstzugkraft, die zur Zerstörung der Naht infolge Reißens des Nähfadens führt, ermittelt (nach DIN EN ISO 13935-01 und -02). Die Prüfung erfolgt mit dem Streifenzugversuch (nach DIN 13934-1) oder mit dem Grab- Zugversuch (13934-2). Zur Prüfung wird die Laboratoriumsprobe gefaltet und mit einer Naht, welche quer zur Zugrichtung verläuft, mit 10 mm Nahtzugabe verbunden. Die tragende Nähgut- bzw. Nahtbreite muss 50 mm betragen. Die Nahtlage sollte fadengerade in Richtung Kette bzw. Schuss liegen. Bei einachsigen Prüfverfahren tritt eine Querkontraktion der Probe auf. Eine Prüfung unter 45° zur Kettrichtung kann bei Geweben wesentliche zusätzliche Informationen bringen. Hierbei darf aber die Materialdehnung nur gering sein, um fehlerhafte Prüfergebnisse zu vermeiden.

Die Messprobe wird ohne Vorspannung mit einer Einspannlänge von 200 mm so in die Klemmen einer Zugprüfmaschine eingespannt, dass die Naht senkrecht zur Zugrichtung liegt, und anschließend mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 100 mm/min stetig steigend belastet. Es wird die zum Zerreißen der Nahtverbindung erforderliche Nahthöchstzugkraft ermittelt und als Maß für die Nahtquerreißfestigkeit angegeben. Zusätzlich wird angegeben, auf welche Art der Bruch der Messprobe zustande kam:

- durch einen in einiger Entfernung von der Naht erfolgten Gewebe oder Klemmenbruch,

- durch einen Gewebebruch unmittelbar an der Naht,
- durch einen Bruch des Nähfadens,
- durch ein Nahtschieben oder
- eine Kombination dieser Möglichkeiten.

Reißt statt der Naht das Flächengebilde oder reißt die Naht ohne sichtbare Beschädigung aus der textilen Fläche aus, kann die Nahtquerreißfestigkeit nicht bestimmt werden. Nähfaden, Nadeltyp, Nadeldicke, Nahtart, Nahtzugabe und Stichdichte werden je nach Aufgabenstellung ausgewählt.

Unter Nahtlängsdehnfähigkeit wird die Längenänderung von Nahtverbindungen, bezogen auf die ursprüngliche Nahtlänge, bei Zugbeanspruchung längs der Naht verstanden. Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an den Streifenzugversuch an textilen Flächengebilden (DIN EN ISO 13934-1). Für die Prüfung werden 2 Teilstücke der Messprobe mit einer Breite von 50 mm und einer Länge von 350 mm zugeschnitten. Die beiden Teilstücke werden längsseitig mit einer Naht verbunden. Die Proben werden bis zum Reißen des ersten Stiches der Nahtverbindung belastet und die im Moment erreichte Längenänderung wird gemessen. Die Nahtlängsdehnung kann nur ermittelt werden, wenn sie kleiner als die Reißdehnung der gesamten Messprobe ist. Sie ist abhängig vom Fadenvorrat in der Naht. Dieser Vorrat wird wesentlich durch den Stichtyp, die Stichdichte, die Nähgutdicke und die Fadenspannung beim Nähen bestimmt. Die Dehnung des Nähgarns selbst ist von untergeordnetem Einfluss, da sie meist gering ist.

Als weiteres Beurteilungskriterium der Naht kann der Nahtschiebewiderstand nach DIN EN ISO 13936-1 ermittelt werden. Zwei gemessene Kraft- Dehnungskurven (eine nicht genähte Fläche und eine genähte Fläche) werden verglichen, um bei gleicher Kraft einen Dehnungsunterschied fest zu stellen. Bei vernähten Geweben können im Nahtbereich unter der Einwirkung von Zugkräften Faden- bzw. Nahtverschiebungen auftreten, die zu Nahtöffnungen bis hin zu Nahtzerstörungen führen. Für die Konstruktion bzw. Auswahl geeigneter Gewebe im Hinblick auf den Verwendungszweck ist es erforderlich, die Auswirkungen von Kräften auf das Nahtschiebeverhalten näher zu untersuchen. Unter Nahtschiebeverhalten wird die Neigung der Kett- und Schussfäden eines Gewebes, sich im Nahtbereich bei Einwirkung von Zugkräften quer zur Nahtichtung gegeneinander zu verschieben, verstanden. Je nach Lage der Naht zu dem Fadensystem kann eine Nahtverschiebung entlang der Kettfäden infolge der Verschiebbarkeit der Schussfäden (Schussfadenverschiebung) oder entlang der Schussfäden durch die Verschiebbarkeit der Kettfäden (Kettfadenverschiebung) erfolgen.

Die Nahtscheuerbeständigkeit kennzeichnet die Widerstandsfähigkeit des Nähfadens in der Naht gegen eine Scheuerbeanspruchung. Sie ist eine der wichtigsten Eigenschaften zur Beurteilung des Gebrauchsverhaltens. Nähte unterliegen im Gebrauch oft hohen Scheuerbelastungen, werden also extrem belastet. Die Nahtscheuerbeständigkeit wird durch den Stoff, die Nahtkonstruktion und den Nähfaden bestimmt. Primär wird die Nahtscheuerbeständigkeit jedoch über den Nähfaden festgelegt und hier ist es vor allem der Rohstoff, der das Scheuerbeständigkeitsniveau bestimmt.

Weitere Prüfverfahren sind der Stempeldurchdruckversuch (DIN EN ISO 12236) und der instrumentierte Durchstoßversuch (DIN EN ISO 6603-2). Das sind aussagekräftige Prüfverfahren, bei dem die Kraft- bzw. Dehnungseigenschaften des Textils unter Beanspruchung in zwei Richtungen (Kette und Schuss) ermittelt werden. Über einen Stempel wird das Textil einer Kraft ausgesetzt und dabei die Dehnung in Quer- und Längsrichtung gemessen.

Um beim Nähen eine gute Nahtqualität zu erreichen, müssen die Maschinenparameter exakt eingestellt und abgestimmt werden. Die Einstellung der Nähmaschine muss immer in Abstimmung mit den zu verarbeitenden Nähfäden und Nähgutart erfolgen. Das Nähgarn erfährt bereits beim Nähen eine hohe mechanische und thermische Belastung. Dazu gehören z. B.:

- hohe Nähgeschwindigkeiten
- Reibung und Scheuerung an den Fadenleitorganen und an der Nähmaschinenadel
- Reibung und Scheuerung mit dem Greiferfaden an der Verschlingungsstelle im Innern des Nähgutes,
- Schlag-, Knick- und Biegebeanspruchungen durch Fadenhebel, Greifer und Fadenleitorgane,
- Kompression, Stauchungen, Verdrehungen usw.

Die komplexe Wirkung von thermischer und mechanischer Nähgarnbelastung ist wesentlich für die nach dem Nähvorgang verbleibende Nähgarn- und Nahtfestigkeit im konfektionierten Erzeugnis. Der tatsächliche Einfluss der vielen, im Nähprozess wirkenden Einzelparameter auf die Nähgarn- und Nahtfestigkeit ist sowohl prozentual als auch absolut nur schwer bzw. gar nicht erfassbar, da es kaum gelingt, nur einen einzigen Parameter in seiner Wirkung zu untersuchen. Die Auswirkungen der thermischen und mechanischen Belastung während des Nähprozesses auf Nähgarne äußern sich in einer veränderten Höchstzugkraft des Nähgarns.

Dazu werden die Höchstzugkraft nach DIN EN ISO 2062 für die bei verschiedenen Nähmaschinendrehzahlen vernähten Nadelfäden im Vergleich zum unvernähten Nadelfaden ermittelt. In Abhängigkeit von der Drehzahl der Nähmaschine treten unterschiedliche mechanische und thermische Belastungen auf, die zur Veränderung der Nähgarnfestigkeit führen. Dabei rufen unterschiedliche textile Flächengebilde auch differierende Festigkeitsverluste hervor.

Die Luftsackkonstruktionen bei Airbags werden konventionell genäht. Die wichtigsten Gewebematerialien sind nach wie vor aus PA 6 und PA 6,6 (beschichtet und unbeschichtet), in den Fadenstärken 700 dtex, 470 dtex und 235 dtex hergestellt. Bei den Nähzwirnen werden im europäischen Raum bevorzugt Garne aus PA 6,6 und PA4,6 bondiert eingesetzt. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über derzeit eingesetzte Standardqualitäten von Nähzwirnen, eingesetzt bei Airbagnähten.

**Tabelle 1:** Nähzwirntypen für den Einsatz im Airbag

Product	Major characteristic
<b>Oxcel</b> Polyamide 6.6, bonded, continuous filament	Multidirectional seams, all airbag applications Needle & bobbin thread
<b>Wardex</b> Polyamide 6.6, unbonded, continuous filament	Offering alternative seam construction Optional bobbin thread
<b>Oxcel HT (B)</b> Polyamide 4.6, bonded, continuous filament	Multidirectional seams, high heat resistance, improved working ability Needle & bobbin thread
<b>Oxcel HT (U)</b> Polyamide 4.6, unbonded, continuous filament	Offering alternative seam construction Optional bobbin thread
<b>NC-tech</b> DuPont™ Nomex®, bonded, continuous filament	Multidirectional seams, very high heat resistance Needle & bobbin thread
<b>KC-tech</b> DuPont™ Kevlar®, bonded, continuous filament	Multidirectional seams, very high strength & extreme heat resistance Needle & bobbin thread
<b>Strongfil</b> Polyamide 6.6, unbonded, continuous filament	Excellent resistance to abrasion Needle & bobbin thread

Für das konkrete Produkt „Airbag“ benötigt man Nahtverbindungen, die einerseits eine hohe Dehnung bei gleichzeitig hoher Festigkeit garantieren, andererseits in einem breiten Temperaturfenster funktionieren müssen. Die üblichen Stichtypen in Airbagnähten sind der Doppelstepstich (Stichtyp 301 nach DIN 61400) und der Doppelkettenstepstich (Stichtyp 401 nach DIN 61400).

### 3. Experimentelles

#### 3.1 Verwendete Materialien

Nahtsysteme sind technologiebedingt anders als die miteinander sicher zu verbindenden textilen Komponenten konstruiert und gelten als schwächstes Glied im konfektionierten Gesamtsystem. Insbesondere die Umfangsnähte an den textilen Luftsackkonstruktionen (Airbagmodule) bergen ein hohes Gefahrenpotential. Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Nahtauslegung in einem Beifahrerairbag gelegt. Entsprechend erfolgte die Materialauswahl und Beschaffung markttypischer Nähgarne und Gewebetypen. In Absprache mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses wurden 2 unbeschichtete Airbaggewebe aus PA6.6 in Leinwandbindung (**Gewebe A**: EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140; **Gewebe B**: EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72) sowie 2 Nähgarne Nm 20/3 PA6.6 bondiert ausgewählt.

Zur Materialcharakterisierung wurden zunächst die textilen Ausgangskennwerte der Gewebe und darin eingesetzten Garntypen sowie der Nähgarne ermittelt. Die ermittelten Kennwerte sind in den nachfolgenden Tabellen 2 bis 4 (Punkt 3.1.1 bis 3.1.3) aufgelistet.

#### **3.1.1 Airbaggewebe/ Kett- und Schussfäden**

Die Ausgangswerte an den Airbaggeweben wurden nach den in der EASC 9904 0180 (A09) [34] vorgegebenen Prüfvorschriften [30, 31] ermittelt und sind in den **Tabellen 2.1 und 2.2** angegeben.

**Tabelle 2.1:** Textilphysikalische Materialkennwerte (Mittelwerte)

**Versuchsgewebe A:** EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140

<b>Materialkennwert</b>	<b>Dim.</b>	<b>Geprüft TITK</b>	<b>Vergleich Datenblatt PHP</b>
Flächenmasse	g/m <sup>2</sup>	210	
Dicke	mm	0,328	
Kett-Fadendichte	Fd/dm	203	204
Schuss-Fadendichte	Fd/dm	196	195
<i>Kettgarn</i> -Feinheit	dtex	487	470
<i>Schussgarn</i> -Feinheit	dtex	484	470
Feinheitsbezogene Reißkraft : <i>Garn</i>	cN/tex	78,3	

Fortsetzung **Tabelle 2.1:** Textilphysikalische Materialkennwerte (Mittelwerte)

**Versuchsgewebe A:** EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140

Materialkennwert	Dim.	Geprüft TITK	Vergleich Datenblatt PHP
Dehnung bei max. Reißkraft: <i>Garn</i>	%	25,2	
Höchstzugkraft- Kette: <i>Gewebe</i>	N/5cm	3557	3481
Höchstzugkraft-Schuss: <i>Gewebe</i>	N/5cm	3586	3477
Dehnung bei HZK-Kette <i>Gewebe</i>	%	35,7	33,5
Dehnung bei HZK- Schuss <i>Gewebe</i>	%	30,1	30,9

**Tabelle 2.2:** Textilphysikalische Materialkennwerte (Mittelwerte)

**Versuchsgewebe B:** EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72

Materialkennwert	Dim.	Geprüft TITK	Vergleich Datenblatt PHP
Flächenmasse	g/m <sup>2</sup>	151	
Dicke	mm	0,230	
Kett-Fadendichte	Fd/dm	287	287
Schuss-Fadendichte	Fd/dm	287	287
<i>Kettgarn</i> -Feinheit	dtex	245	235
<i>Schussgarn</i> -Feinheit	dtex	242	235
Feinheitsbezogene Reißkraft : <i>Garn</i>	cN/tex	82,3	
Dehnung bei max. Reißkraft: <i>Garn</i>	%	20,7	
Höchstzugkraft- Kette: <i>Gewebe</i>	N/5cm	2202	2179
Höchstzugkraft-Schuss: <i>Gewebe</i>	N/5cm	2249	2190
Dehnung bei HZK-Kette <i>Gewebe</i>	%	38,5	40,5
Dehnung bei HZK- Schuss <i>Gewebe</i>	%	28,3	29,5

### 3.1.2 Nähgarne

Die Ausgangswerte an den Nähgarnen wurden nach den in der EASC 9200 0180 (A00) [35] vorgegebenen Prüfvorschriften [31] ermittelt und sind in **Tabelle 3** angegeben.

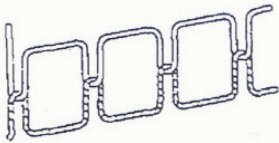
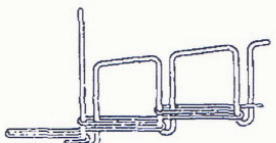
**Tabelle 3:** Textilphysikalische Materialkennwerte (Mittelwerte)  
**Nähgarn:** Oxcel 20/3 PA 6,6 (Farbe Rot und Grün)

Materialkennwert	Dim.	ROT	GRÜN
Konstruktion	Nm dtex	20x3 470 x3	20x3 470 x3
Gesamtfeinheit	dtex	1650	1760
Höchstzugkraft (HZK)	N	104	105
Feinheitsbez. HZK	cN/tex	63	60
Höchstzugkraftdehnung	%	29	29
Drehung	Dr/m	512S / 374 Z	512 S / 374 Z

### 3.1.3 Nahtkonstruktionen

Nähte und Nahtbedingungen wurden gemäß EASC 0205 0814 (A00) [36] DIN ISO 4916 [37] und Verarbeitungsempfehlungen Amann [38] ausgewählt. Die Merkmale der beiden ausgewählten Versuchsnähte sind in **Tabelle 4** zusammengestellt.

**Tabelle 4:** Übersicht zu den Versuchsnähten [36, 37, 38]

Merkmal	Doppelsteppstich	Doppelkettenstich
Stichtyp	301	401
Stichbild	 <p>Stichtyp 301 - Doppelsteppstich</p>	 <p>Stichtyp 401 - Doppelkettenstich</p>
Nadelfaden (NF) Greiferfaden (GF)	Oxcel GRÜN Oxcel ROT	Oxcel GRÜN Oxcel ROT
Nähgutanordnung	1.01	2.02
Stichdichte	4 Stiche /cm	4 Stiche /cm



### **3.2 Einstellparameter Dehnrate**

Untersuchungen bei veränderten Versuchsgeschwindigkeiten sind für die Interpretation des dynamischen Werkstoffverhaltens unerlässlich. Die Angabe der Abzugsgeschwindigkeit  $v_0$  bei Zugprüfungen gibt die unmittelbaren Verhältnisse in der Messprobe nicht eindeutig wieder, da sie nur die Geschwindigkeitsverhältnisse der ziehenden Klemmen definiert. Deshalb wird insbesondere bei dynamischen Prüfungen die Dehnung pro Zeiteinheit in der Probe angegeben. Nach [7, 16, 39] ist die **Dehngeschwindigkeit**  $\dot{\epsilon}$  nach Gleichung (1) definiert als:

$$\dot{\epsilon} = \frac{v_0}{l_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Hierbei bedeuten:

$\dot{\epsilon}$  [%/s] - Dehngeschwindigkeit

$v_0$  [m/s] - Abzugsgeschwindigkeit

$l_0$  [m] - Einspannlänge

Nach Gleichung (2) ist die **Dehnrate** definiert als

$$\dot{\epsilon} = \frac{v_0}{l_0} \quad (2)$$

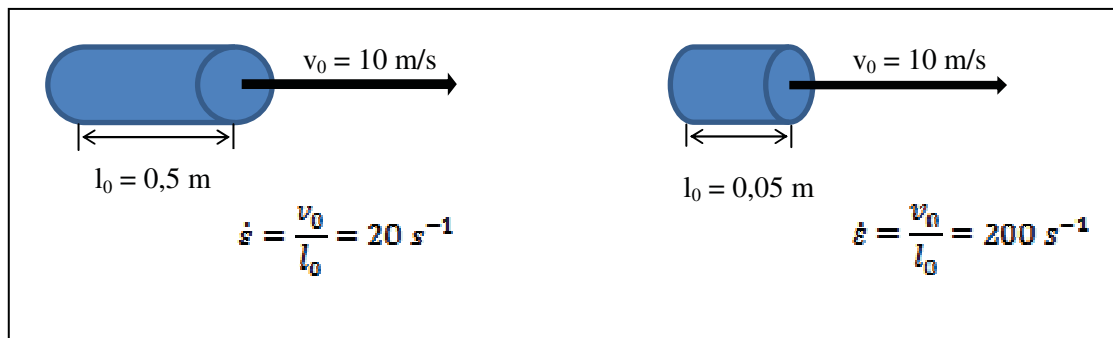
Hierbei bedeuten:

$\dot{\epsilon}$  [s<sup>-1</sup>] - Dehnrate

$v_0$  [m/s] - Abzugsgeschwindigkeit

$l_0$  [m] - Einspannlänge

In **Abbildung 4** wurde der Zusammenhang Dehnrate, Abzugsgeschwindigkeit und Einspannlänge nochmals bildlich dargestellt. Es ist der Einfluss der Einspannlänge auf die Dehnrate deutlich erkennbar. Betrachtungen in der Literatur zum Kraft-Dehnungsverhalten erfolgen in der Regel dehnratenbezogen.



**Abbildung 4:** Zusammenhang von Dehnrage, Abzugsgeschwindigkeit und Einspannlänge [40]

### 3.3 Quasistatische Zugprüfung

Der quasistatische Zugversuch hat als mechanisches Prüfverfahren die größte Bedeutung erlangt. Er ist hinreichend untersucht und die Ergebnisse wurden in zahlreichen Normen festgeschrieben, so dass für jede Werkstoffgruppe explizite Normen der Zugprüfung vorliegen.

#### 3.3.1 Beschreibung Versuchsstand- Zwick Z010

Zur Durchführung der Versuche wurde die Tischprüfmaschine Z 010 der Firma Zwick GmbH & Co.KG. verwendet, die in **Abbildung 5** zu sehen ist. Es handelt sich um eine elektromechanische Universal-Prüfmaschine zur Durchführung von Zug-, Druck- und Biegeversuchen. Als Versuchsergebnis erhält man Kraft-Dehnungs-Kurven, aus denen mittels der testXpert®- Software die Kennwerte berechnet werden.

**Einsatz einer Universal- Prüfmaschine  
( Firma Zwick )**

- mögliche Lasten bis 10 kN
- mögliche Belastungsgeschwindigkeiten **bis 2000 mm/min**
- Prüfrelevanter Weg **bis 500 mm**
- Dehnrage **bis max. 0,66 s<sup>-1</sup>**
- Dehngeschwindigkeit **bis max. 66,6 %/s**

**Abbildung 5:** Prüfmaschine Zwick Z 010- Leistungsdaten  
(für quasistatische Prüfreihen)

Die Maschine besteht aus einem Lastrahmen, der zusammen mit der elektronischen Mess- und Regeleinheit die Grundeinheit darstellt. Der Lastrahmen besteht aus zwei Führungsprofilen mit integrierten, spindelfreien Kugelgewindetrieben, einer festen unteren und fahrbaren mittleren Traverse sowie einem Kopfblech. Der mechanische Antrieb befindet sich im Sockel. Zum Anschluss von Prüfwerkzeugen und Kraftaufnehmern dient eine einheitliche Zentralbefestigung an der Traverse. Der Kraftaufnehmer wandelt die physikalische Größe Kraft in eine elektrisch messbare Spannung um. Er besteht aus einem mechanischen Verformungskörper mit aufgeklebten Dehnungsmessstreifen (DMS). Die DMS sind dehnungsabhängige, elektrische Widerstände welche zu einer Messbrücke zusammengeschaltet sind.

Der Wert der Messspannung am Ausgang der Brückenschaltung ist analog der zu messenden Kraft, die auf den Verformungskörper und das ganze Aufnehmersystem wirkt. Ein abgeschirmtes Messkabel stellt die Verbindung zum Messverstärker der Messelektronik her. Die vorliegende Prüfmaschine hat eine maximale Prüfkraft von 10 kN. Die Maschine hat eine Traversengeschwindigkeit von 0,001 mm/min bis 2000 mm/min mit einer Genauigkeit von 1 % der eingestellten Geschwindigkeit. Die Wegmessung erfolgt über einen digitalen Traversenwegaufnehmer. Mit diesem wird der Verfahrweg der Traverse direkt gemessen. Zusätzlich wird dieser zur Positions- und Geschwindigkeitsregelung des Antriebes genutzt. Die Wegauflösung beträgt 0,0272 µm.

### 3.2.2 Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche

Wie schon in Punkt 3.2 diskutiert wurde, beschreibt die Dehnrates die Verhältnisse in der Messprobe besser, als die Angabe der Prüfgeschwindigkeit. Auf Grundlage der Gleichung (2) wurden daher durch Variation der Abzugsgeschwindigkeiten und Einspannlängen verschiedene Dehnrates realisiert.

**Tabelle 5.1:** Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche an den Garnen

	50 mm/min	250 mm/min	500 mm/min	1000 mm/min	1800 mm/min
25 mm	<b>0,033</b>	<b>0,167</b>	<b>0,33</b>	<b>0,67</b>	<b>1,2</b>
50 mm	<b>0,0167</b>	<b>0,083</b>	<b>0,167</b>	<b>0,33</b>	<b>0,6</b>
500 mm	<b>0,00167</b>	<b>0,0083</b>	<b>0,0167</b>	<b>0,033</b>	<b>0,06</b>

Die Bedingungen für den Normzugversuch an Garnen nach DIN EN ISO 2062 [31] sind rot markiert.

Bei den 3 gewählten Einspannlängen (25, 50 und 500 mm) und 5 Prüfgeschwindigkeiten (50, 250, 500, 1000 und 1800 mm/min) ergeben sich die in **Tabelle 5.1** untersuchten Dehnraten für die Garne, durchgeführt an den in den Airbaggeweben verarbeiteten Kett- und Schussgarnen sowie den ausgewählten Nähgarnen.

Die eingestellten Dehnraten für die quasistatischen Streifenzugversuche an den Geweben mit und ohne Naht sind in **Tabelle 5.2** angegeben.

**Tabelle 5.2:** Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche an den Geweben A und B (mit und ohne Naht)

	200 mm/min	1000 mm/min	1800 mm/min
50 mm			<b>0,667</b>
100 mm		<b>0,167</b>	
200 mm	<b>0,0167</b>		

Die Versuchsbedingungen für den Streifenzugversuch an Geweben nach DIN EN ISO 13934-1 [30] sind rot markiert.

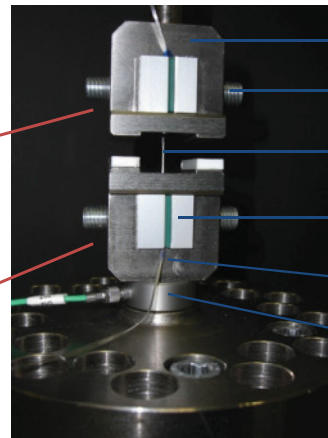
### 3.4 Dynamische Zugprüfung

#### 3.4.1 **Aufbau und Optimierung Versuchsstand**

##### 3.4.1.1 **Servohydraulische Zugprüfmaschine HTM 2008**

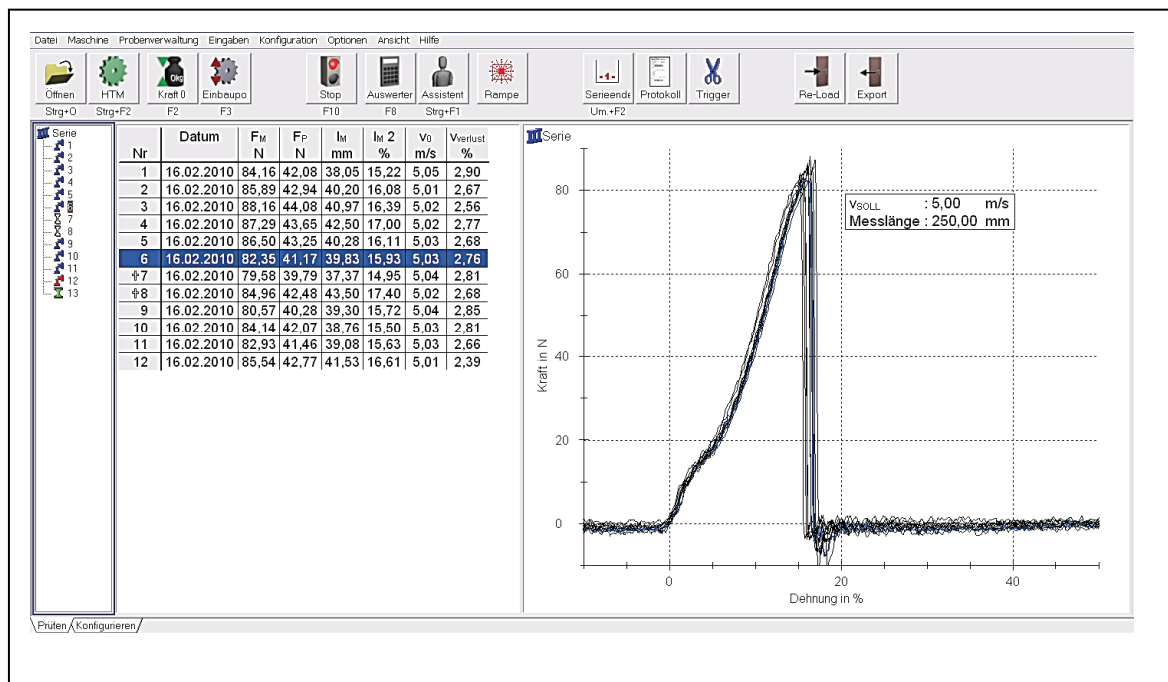
Zur Durchführung der dynamischen Zugversuche wurde die Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine HTM 2008 der Firma Zwick GmbH & Co.KG. verwendet, die in **Abbildung 6** zu sehen ist. Es handelt sich um eine servohydraulische Universal-Prüfmaschine zur Durchführung von Zug-, Druck- und Biegeversuchen.

Die Dehnungsmessung erfolgt mit inkrementaler Messmethode; wobei die Wegsensoren den Weg nicht direkt messen, sondern dieser in kleine Einheiten (Inkrementen) aufgeteilt ist und über eine Zählschaltung die Inkremente als Funktion der Zeit erfasst werden. Mit dieser Methode werden immerhin Genauigkeiten  $< 1 \mu\text{m}$  erreicht. Der Vorteil von Inkrementalgebern ist ihr relativ einfacher Aufbau. Als nachteilig ist die nur indirekte Bestimmung des Hauptmesswertes zu nennen wodurch die Maschine beim Start grundsätzlich eine Referenzmarke anfahren muss.



- Obere Einspannklemme
- Spannschraube
- Messprobe
- Einlage
- Untere Einspannklemme
- Kraftmessdose

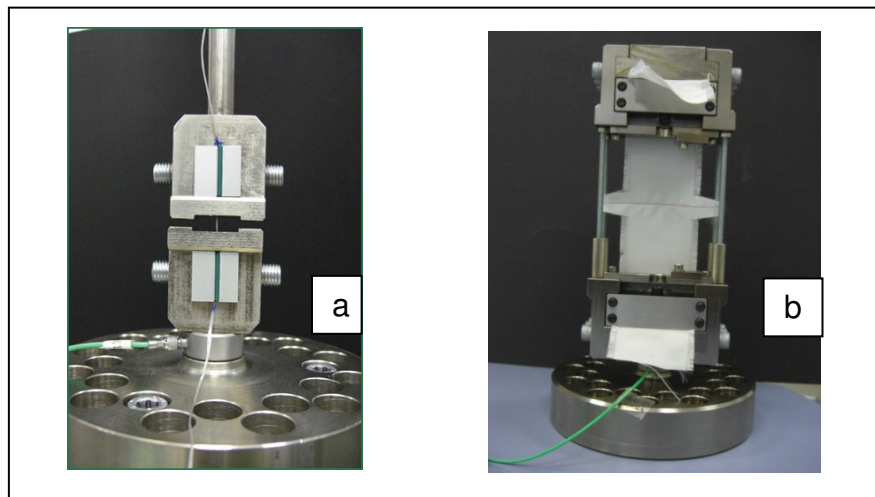
**Abbildung 6:** Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine HTM 2008  
(Parallelklammern am Beispiel Garnprüfung)



**Abbildung 7:** HTM 2008 - Beispiel für die Darstellung von Kraft-Dehnungs-Kurven

Zur experimentellen Ermittlung der Zugfestigkeit werden Messproben mit einer näherungsweise konstanten Verformungsgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet. Die Versuchsergebnisse sind Kraft-Dehnungs-Kurven, wie in der **Abbildung 7** dargestellt. Aus ihnen können dann die feinheitsbezogenen Kraft-Dehnungs-Kurven berechnet werden.

Problematisch hinsichtlich einer **sicheren Klemmung** sind vor allem glatte Filamentgarne, hochfeste Garne und technische Gewebe. Zum sicheren, rutschfreien Einspannen glatter und hochfester Materialien ist ein hoher Klemmendruck erforderlich, der aber andererseits durch Quetschen an der Einspannstelle die Probe vorschädigen und damit das Ergebnis verfälschen kann. Unabhängig von der Art der Beschleunigung ist die Ankopplung der beschleunigten Masse an die Messprobe von großer Bedeutung.



**Abbildung 8:** Eingesetzte Spannwerkzeuge an der HTM 2008  
(a: Garne, b: Streifenproben)

Bei den Hochgeschwindigkeitsprüfungen muss die Klemmenmasse so gering wie möglich sein, deshalb können bei dieser Zugprüfmaschine keine pneumatischen Klemmen verwendet werden.

Im Rahmen des Projektes wurden zahlreiche verschiedene Klemmen getestet. Die spezielle Klemmenproblematik ist Know How des TITK und der Firma Zwick. Grundsätzlich eigneten sich für die untersuchten Garne und textilen Streifenproben nur leichte Schraubklemmen mit Spannbacken aus Aluminium/ Vulkollan-Klemmenbelägen, wie in **Abbildung 8** abgebildet.

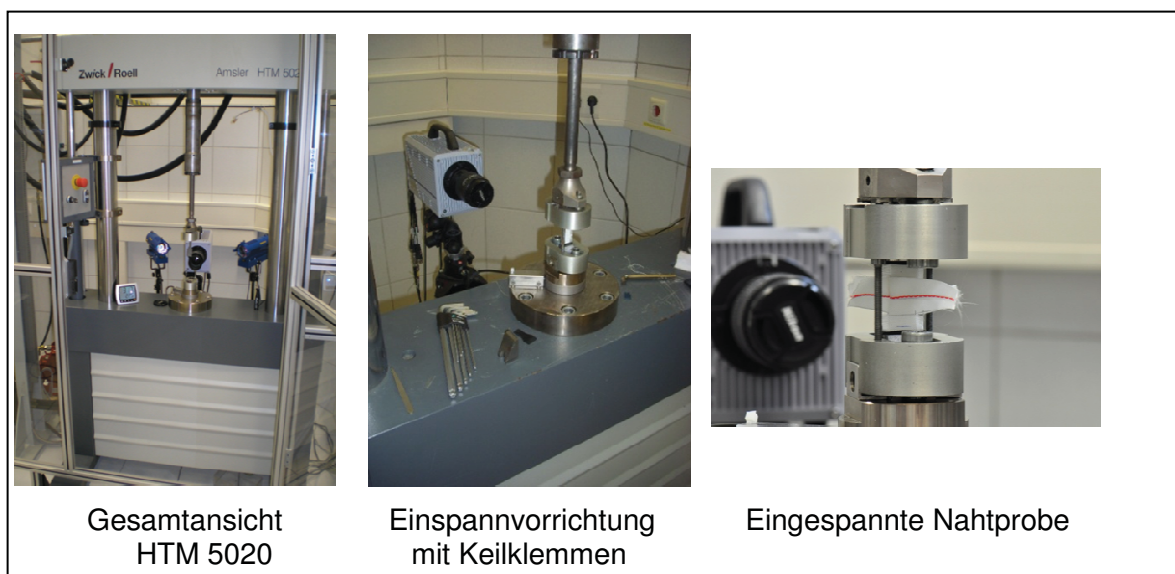


### 3.4.1.2 Servohydraulische Zugprüfmaschine HTM 5020

Ab Anfang März 2012 traten vermehrt mechanische Probleme an der Hardware der HTM 2008 - Maschine auf. Eine Fehlerbehebung der Monteure von der Firma Zwick vor Ort führte nicht sofort zum Erfolg. Die HTM 2008- Maschine befand sich anschließend vom 22.03.2012 bis 28.09.12 zur Fehlersuche und Reparatur bei der Firma Zwick.

Um den erfolgreichen Abschluss des Projektes nicht zu gefährden, konnten vorübergehend Versuche an einer servohydraulischen Zugprüfmaschine **HTM 5020** am DKI in Darmstadt durchgeführt werden. Diese Prüfmaschine ermöglicht die Untersuchung des mechanischen Verhaltens (vornehmlich für Folien und Kunststoffe) bei verschiedenen Dehnraten, von quasistatisch bis hochdynamisch (Abzugsgeschwindigkeiten von 0,1 bis 20 m/s). Wesentlicher Vorteil der am DKI eingesetzten Prüftechnik ist die nahezu konstante Deformationsgeschwindigkeit für Versuche von sehr kleinen bis zu sehr großen Dehnraten (siehe auch Tabelle 6). Von Nachteil war jedoch, dass diese Maschine nur für eine Probenklemmung mittels Keilklemmen ausgelegt war. Die o.g. Schraubklemmen waren nicht einsetzbar. Grundsätzlich konnten hier nur dynamische Versuche an den Streifenproben (Airbaggewebe) durchgeführt werden. Garne und Nähgarne wurden an den Klemmen zu stark beansprucht und rissen ausschließlich in der Klemme.

**Abbildung 9** zeigt die im DKI verfügbare HTM 5020 und die verfügbaren Einspannklemmen.



**Abbildung 9:** Servohydraulische Prüfmaschine HTM 5020  
(eingesetzte Keilklemmen am Beispiel Streifenprobe mit Naht)



In Tabelle 6 sind die Maschinenparameter aller 3 eingesetzten Versuchsstände vergleichend gegenübergestellt.

**Tabelle 6:** Vergleich der Maschinenparameter der 3 eingesetzten Versuchsstände  
Zwick Z 010, Zwick HTM 2008, Zwick HTM 5020

Prüf-Technologie	quasistatisch	dynamisch	
	Zwick Z010	Zwick HTM 2008	Zwick HTM 5020
Abzugsgeschwindigkeit	0 m/s - 0,03 m/s	0,1 m/s - 10 m/s	0,1 m/s - 20 m/s
Einspannlänge	20 mm - 500 mm	20 mm - 500 mm	40 mm
Maximalkraft	10 kN	20 kN	50 kN
Kraftmessung	DMS	piezoelektrische Kraftaufnehmer	
Dehnungsmessung	digitale Messung	Inkrementale Messmethode	
			Zusätzlich optisches Messsystem
Software, Steuerung, Auswertung	testXpert®		

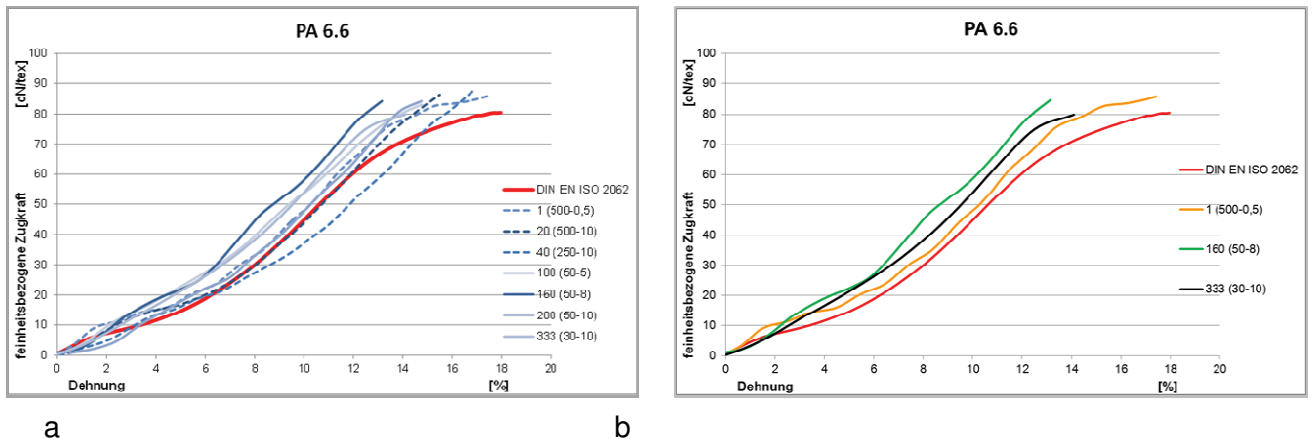
### 3.4.2 Versuchsmatrix Hochgeschwindigkeitszugversuche

**Tabelle 7.1** enthält die Einstellparameter für die durchgeführten dynamischen Versuche an den in den Geweben eingesetzten Kett- und Schussgarnen.

**Tabelle 7.1:** Versuchsmatrix dynamische Zugversuche an den Kett- und Schussgarnen (in Gewebe A an EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140 in Gewebe B an EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72)

	0,5 m/s	8 m/s	10 m/s
30 mm			<b>333</b>
50 mm		<b>160</b>	
500 mm	<b>1</b>		

Diese 3 Dehnraten ( $1\text{s}^{-1}$ ,  $160\text{ s}^{-1}$  und  $333\text{ s}^{-1}$ ) wurden in Auswertung des AiF-Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG [7] zur Untersuchung des visko-elastischen Verhaltens technischer Garne bei Kurzzeitbeanspruchungen mit hoher Dehnrates gewählt. Bei diesen Dehnrates zeigte sich die Entwicklung des dynamischen Eigenschaftsprofils signifikant ab (siehe auch 8.1, Arbeitspaket 1), wie in **Abbildung 10** dargestellt.



**Abbildung 10:** Ergebnis dynamischer Garnversuche aus dem Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG [7] am Beispiel PA 6.6 940 f 140

(a: alle durchgeführten Dehnraten;

b: beispielhafte Trendkurven bei Dehnraten  $1 \text{ s}^{-1}$ ,  $160 \text{ s}^{-1}$  und  $333 \text{ s}^{-1}$ )

**Tabelle 7.2** enthält die Einstellparameter für die durchgeführten dynamischen Versuche an den Nähgarnen. Airbagnähgarne sind bondierte, hochgedrehte Zweifachzwirne und zeigen bereits bei quasistatischen Zugprüfungen starke Abhängigkeiten von der richtigen Wahl der Einspannlänge. Dynamische Kennwerte, ermittelt an einer Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine, waren bis dahin nicht bekannt. Es wurde deshalb eine höhere Versuchsreihenanzahl für die nachfolgenden Versuche konzipiert.

**Tabelle 7.2:** Versuchsmatrix dynamische Zugversuche an den Nähgarnen Oxcel 20/3

	0,5 m/s	1 m/s	2,5 m/s	5 m/s	7,5 m/s	10 m/s
30 mm	<b>16,67</b>	<b>33,34</b>	<b>83,34</b>	<b>166,67</b>	<b>250</b>	<b>333</b>
250 mm	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
500 mm	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>

Die eingestellten Dehnraten für die dynamischen Streifenzugversuche an den Geweben mit und ohne Naht sind in **Tabelle 7.3** angegeben.

**Tabelle 7.2:** Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche an den Geweben A und B  
(mit und ohne Naht)

	1 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	20 m/s
40 mm	<b>25</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>375</b>	<b>500</b>

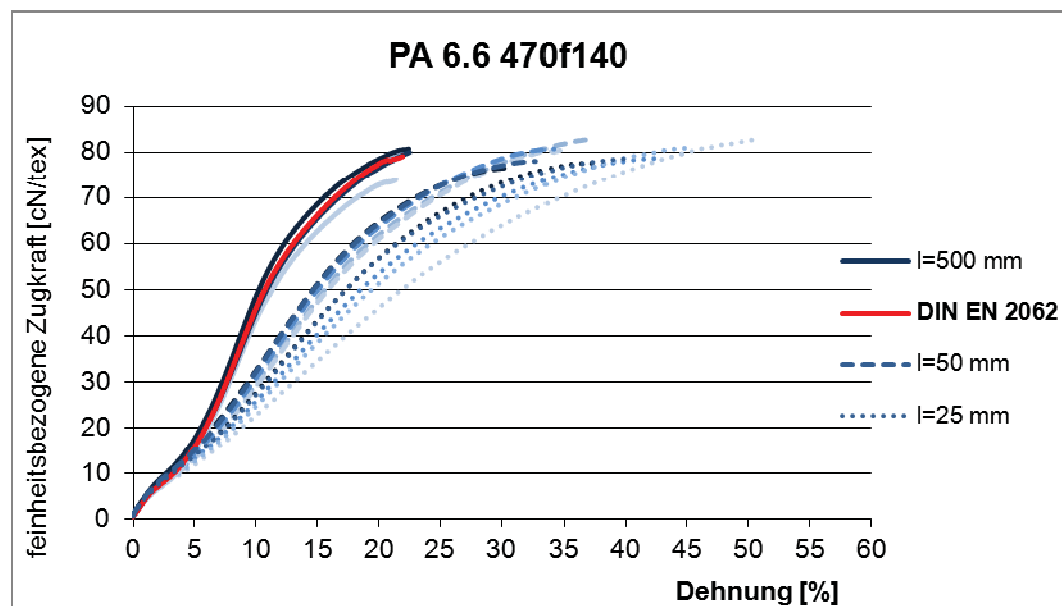
## 4. Beispielhafte Ergebnisse

Für die nachfolgenden Ergebnisbewertungen an den Versuchsgarnen wurden die feinheitsbezogenen Kraft-Dehnungs-Kurven und an den Streifenproben die Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von den gewählten Dehnraten (siehe auch Punkt 3.3.2 Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche und 3.3.4 Versuchsmatrix Hochgeschwindigkeitsversuche) betrachtet.

### 4.1 Quasistatische Zugprüfungen

#### 4.1.1 Quasistatische Zugprüfungen an Kett- und Schussgarnen

**Abbildung 11** zeigt die Auswertung aller gemessenen Kraft-Dehnung-Kurven für das im Gewebe A in Kette und Schuss eingesetzte Filamentgarn **PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140**.

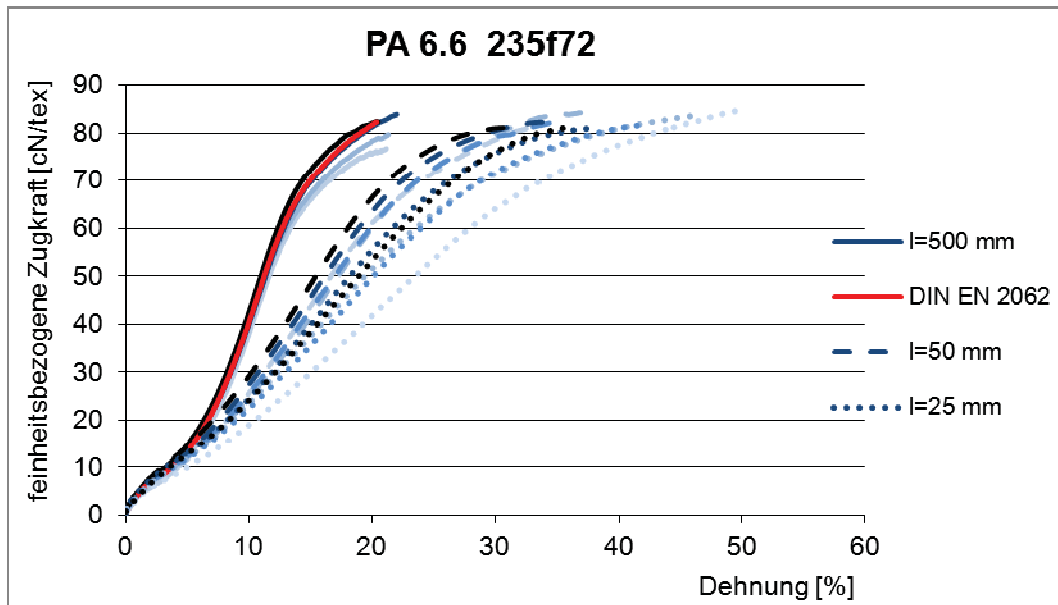


		50 mm/min	250 mm/min	500 mm/min	1000 mm/min	1800 mm/min
.....	25 mm	0,033	0,167	0,33	0,67	1,2
- - -	50 mm	0,0167	0,083	0,167	0,33	0,6
—	500 mm	0,00167	0,0083	0,0167	0,033	0,06

**Abbildung 11:** Quasistatischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel  
PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140 (eingesetzt in Gewebe A)

**Abbildung 12** zeigt die Auswertung aller gemessenen Kraft-Dehnung-Kurven für das im Gewebe B in Kette und Schuss eingesetzte Filamentgarn **PA 6,6 EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72**.



	Einspann- länge $l_0$	50 mm/min	250 mm/min	500 mm/min	1000 mm/min	1800 mm/min
.....	25 mm	0,033	0,167	0,33	0,67	1,2
--	50 mm	0,0167	0,083	0,167	0,33	0,6
—	500 mm	0,00167	0,0083	0,0167	0,033	0,06

**Abbildung 12:** Quasistatischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

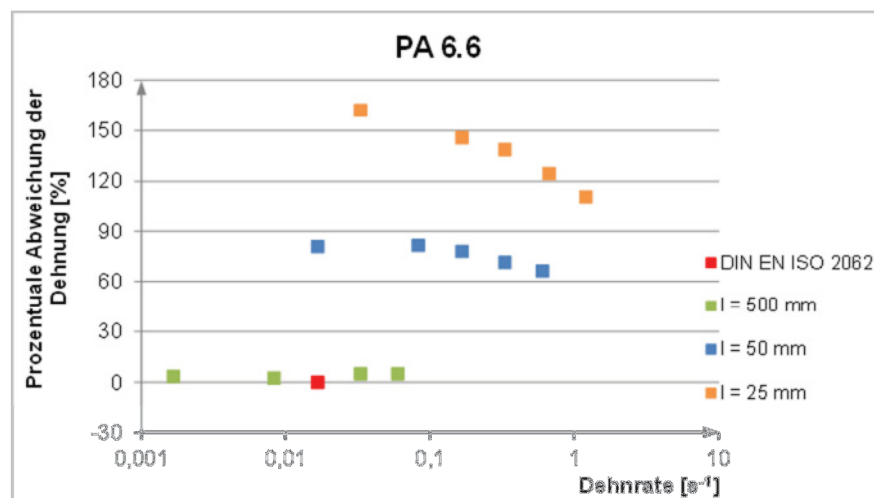
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel  
PA 6,6 EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72 (eingesetzt in Gewebe B)

Alle Kurven wurden im Vergleich zum Normzugversuch nach DIN EN ISO 2062 (rote Kurve) dargestellt. Es zeigte sich der bekannte Einfluss der Einspannlänge auf den Kraft- Dehnungs- Verlauf, was in den beiden Kurvendarstellungen durch unterschiedliche Linienkonturen (Volllinie bei  $l_0 = 500$  mm, gestrichelt bei  $l_0 = 50$  mm, gepunktet bei  $l_0 = 25$  mm) noch verdeutlicht wurde.

Unabhängig vom Titer zeigten sich in beiden Kurvenbildern wertemäßig die gleichen Trends. Mit Reduzierung der Einspannlänge verringert sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines kritischen Fehlers, was zu einem leichten Anstieg der Zugfestigkeiten führte.

Beim Dehnungsverhalten der untersuchten Messproben wurden zwei unterschiedliche Effekte festgestellt. Zum einen erhöhten sich die prozentualen Dehnungswerte mit Verringerung der Einspannlängen. Während bei einer Einspannlänge von  $l_0 = 500$  mm die Dehnungswerte im Bereich von ca. 17 % lagen, erreichten die Proben bei einer  $l_0 = 50$  mm Dehnungswerte bis zu 30 % und bei der kleinsten Einspannlänge von 25 mm bis zu 45 %. Eine Ursache dafür ist wie bekannt der zunehmende Einfluss der Klemmdehnung bei kleiner werdender Einspannlänge.

Zum anderen nahmen innerhalb der Prüfserien mit gleicher Einspannlänge die Dehnungswerte mit zunehmender Prüfgeschwindigkeit, bzw. Dehnrates ab. So verringert sich beispielsweise (siehe Abbildung 11 und 12) bei der kürzesten Einspannlänge von 25 mm die Dehnung von 45 % auf 37 %, wenn die Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min auf 1800 mm/min erhöht wurde. Ursache für dieses Verhalten ist die Viskoelastizität der geprüften Filamentgarne. Besonders anschaulich werden die Auswirkungen der Einspannlänge und Dehnrates auf die Dehnung in **Abbildung 13** dargestellt. Hier ist die prozentuale Änderung der Dehnung über der Dehnrates aufgetragen.



**Abbildung 13:** Prozentuale Änderung der Dehnungswerte in Abhängigkeit von den gewählten Einspannlängen und Dehnrates und im Vergleich Normzugversuch; Beispiel PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140

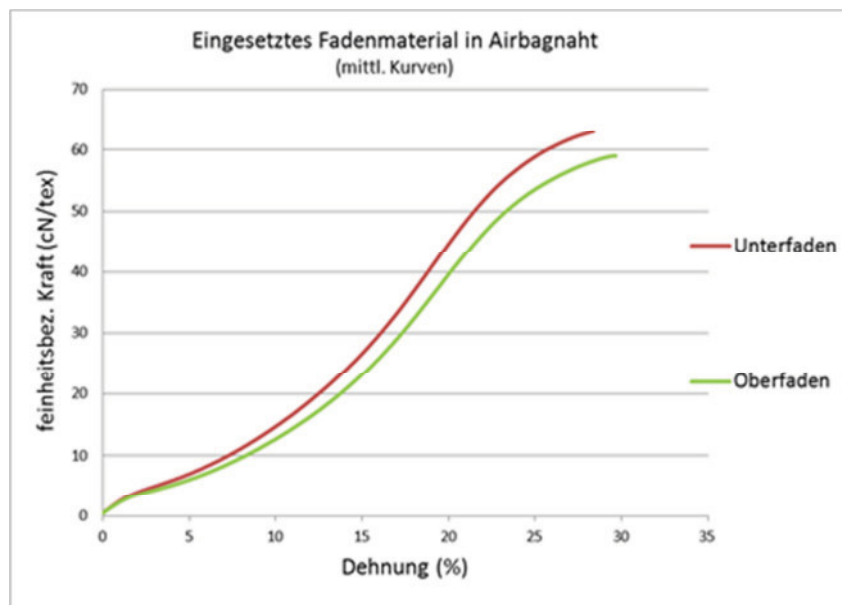
Als Ausgangswert diente die Dehnung, die beim Normzugversuch ermittelt wurde (roter Datenpunkt). Mit Verringerung der Einspannlängen von 500 mm, über 50 mm und auf 25 mm nahm die Dehnung im Vergleich zum Normzugversuch trotz nahezu gleicher Dehnrates deutlich zu. Bei einer Einspannlänge von 50 mm (blaue Datenpunkte) hatte

sich die Dehnung nahezu verdoppelt (+ 90 %) und bei einer Einspannlänge von 25 mm (orange Datenpunkte) war die Dehnung beinahe um 160 % im Vergleich zur Standardprüfung angewachsen. Mit zunehmender Dehnrates, verringert sich jedoch bei gleichbleibender Einspannlänge die Dehnung. So wird bei der höchsten Dehnrates von  $1,2 \text{ s}^{-1}$  (Einspannlänge 25 mm) nur noch eine Dehnung ermittelt, die um etwa 100 % höher liegt, als beim standardisierten quasistatischen Zugversuch.

#### 4.1.2 Quasistatische Zugprüfungen an Nähgarnen

Die nachfolgenden Darstellungen beziehen sich nur auf Ergebnisse, ermittelt im Normzugversuch. Bei Variation der Einspannlängen und Dehnrates ergaben sich analoge Abhängigkeiten und Trends wie für die in 4.1.1 dargestellten Kett- und Schussgarnen, da Kett- und Schussgarne sowie die Nähgarne aus den gleichen Grundpolymeren bestehen.

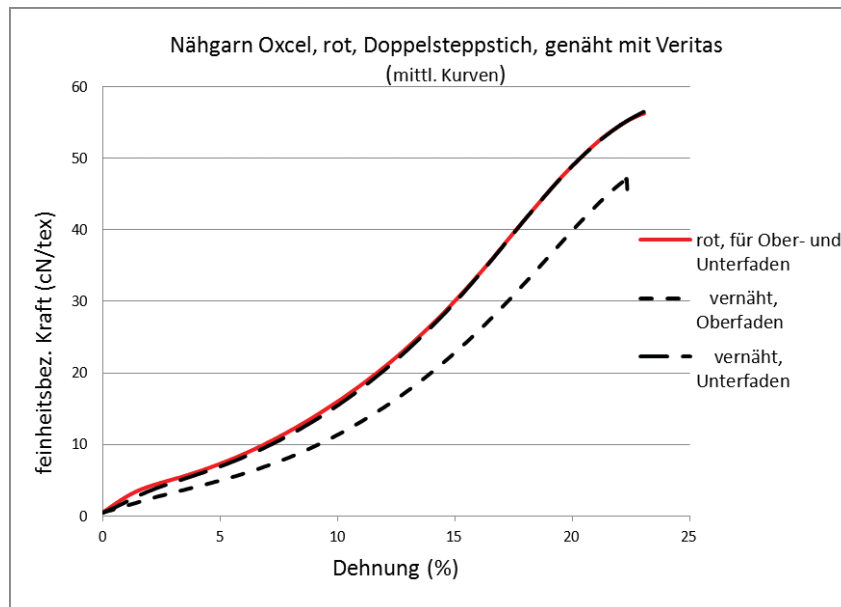
**Abbildung 14** zeigt die feinheitsbezogenen Kraft- Dehnungsdiagramme für die beiden Versuchsgarne Oxcel 20/3 PA 6,6 in den Farben Rot und Grün (siehe auch Tabelle 3) im Ausgangszustand. Nachfolgend wurde das rote Nähgarn als Unter- (= Greiferfaden) und das grüne Nähgarn als Oberfaden (= Nadelfaden) eingesetzt.



**Abbildung 14:** Quasistatischer Zugversuch an Airbagnähgarnen Oxcel 20/3 PA 6,6  
Normzugversuch am Ausgangsmaterial

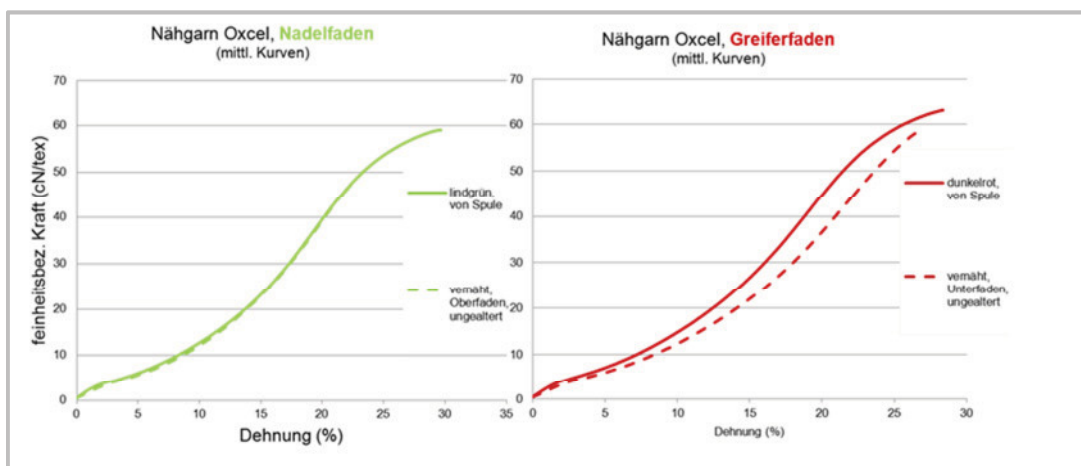
Von den Nähgarnen wurden entsprechend den Angaben in Tabelle 4 Versuchsnahte am Airbaggewebe A angefertigt und die vernähten Garne (Ober- und Unterfaden) für den anschließenden Normzugversuch ausgetrennt. **Abbildung 15** zeigt den Einfluss

des Nähprozesses auf das Kraft- Dehnungsverhalten von Ober- und Unterfaden am Beispiel der Doppelsteppstichnaht Typ 301, ausgeführt an einer Haushalts-Universalnähmaschine.



**Abbildung 15:** Quasistatischer Zugversuch an Airbagnähgarnen Oxcel 20/3 PA 6.6  
Normzugversuch am Ausgangsmaterial und ausgetrenntem Faden  
aus der Doppelsteppstichnaht Typ 301

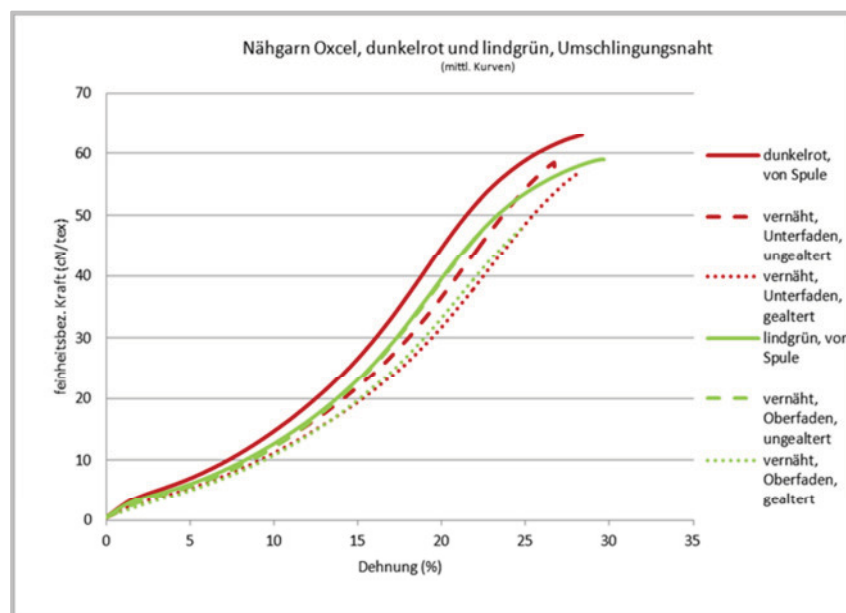
Bei der Doppelsteppstichnaht traten beim Unterfaden (Greiferfaden) keine Festigkeitsverluste auf. Dagegen nahm die Garnfestigkeit des Oberfadens (Nadelfadens) um fast 15% ab.



**Abbildung 16:** Quasistatischer Zugversuch an Airbagnähgarnen Oxcel 20/3 PA 6.6  
Normzugversuch am Ausgangsmaterial und ausgetrenntem Faden  
aus der Doppelkettenstichnaht Typ 401 (Airgabnaht)



Für die Doppelkettenstichnaht Typ 401 (Airgabnaht) wurden Ober- und Unterfaden wie oben angegeben (entsprechend Abbildung 13) eingesetzt. Die Naht wurde an einem Produktionsnähausautomat (Industrienäht) ausgeführt. Das unterschiedliche Kraft-Dehnungsverhalten von Ausgangsmaterial und ausgetrenntem Fadenmaterial wurde in **Abbildung 16 und 17** dargestellt. Wobei in Abbildung 17 zusätzlich das Kraft-Dehnungsverhalten von ausgetrennten Fäden aus einer gealterten Nahtprobe (Alterung nach Umweltsimulation gemäß EASC 9904 0180 -A09) [34] mit angegeben wurde.

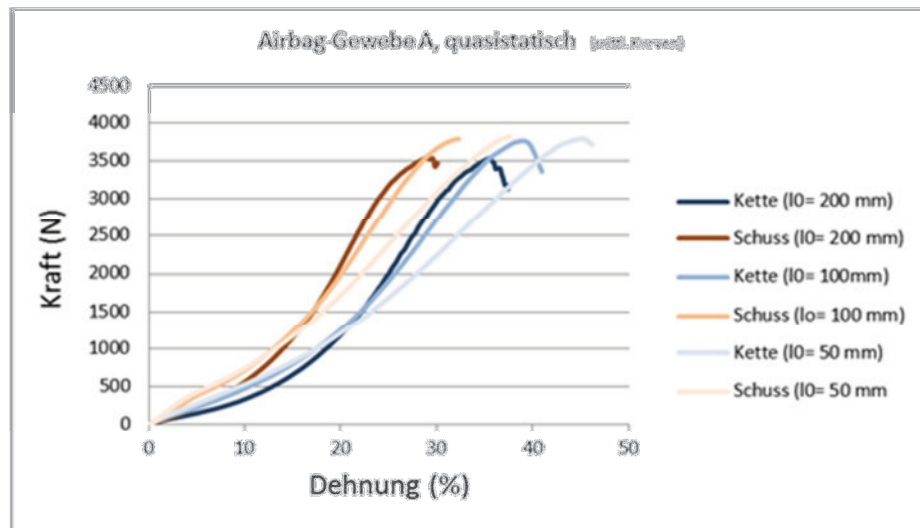


**Abbildung 17:** Quasistatischer Zugversuch an Airbagnähgarnen Oxcel 20/3 PA 6.6  
Normzugversuch am Ausgangsmaterial, ausgetrennten Fäden einer Originalnaht und einer gealterten Doppelkettenstichnaht Typ 401

Die Abbildung 16 zeigt, dass bei der Airbagnaht der Unterfaden offenbar stärker beansprucht wurde. Der Festigkeitsverlust am aufgetrennten Unterfaden beträgt bis zu 6 %. Der Oberfaden zeigte dagegen keine Festigkeitsverluste auf. Bei den gealterten Airbagnähten zeigte sich jedoch bei beiden ausgetrennten Fadenmaterialien ein Festigkeitsabbau; am gealterten Unterfaden betrug der Festigkeitsabbau ca. 9% gegenüber dem unvernähten Originalfaden und beim gealterten Oberfaden sogar bis zu 14%. Die Einflussgrößen Naht- und Stichtyp sowie Alterung wurde hier nur beispielhaft betrachtet. Für statistisch gesicherte Aussagen sind unbedingt weitere Versuchsreihen notwendig. Das sind wichtige zu beachtende Einflussgrößen bei dynamischen Zugversuchen.

### 4.1.3 Quasistatische Zugprüfungen an Gewebestreifen mit und ohne Naht

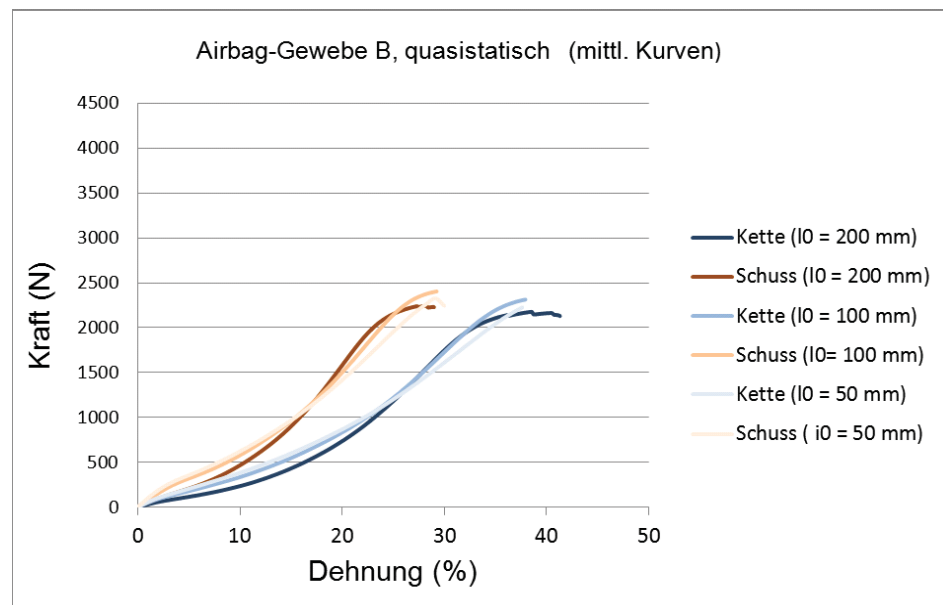
Für die quasistatischen Zugprüfungen an den Gewebestreifen wurden die Normprüfkörper nach DIN EN ISO 13934-1, Länge 35 cm und 5 cm tragende Breite eingesetzt. Gemäß Tabelle 5.2 wurden 3 verschiedene Dehnraten (Normzugversuch =  $0,0167 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,167 \text{ s}^{-1}$  und  $0,667 \text{ s}^{-1}$  eingestellt.



**Abbildung 18:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen.

Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrade am Beispiel

**Airbaggewebe A:** PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140



**Abbildung 19:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen.

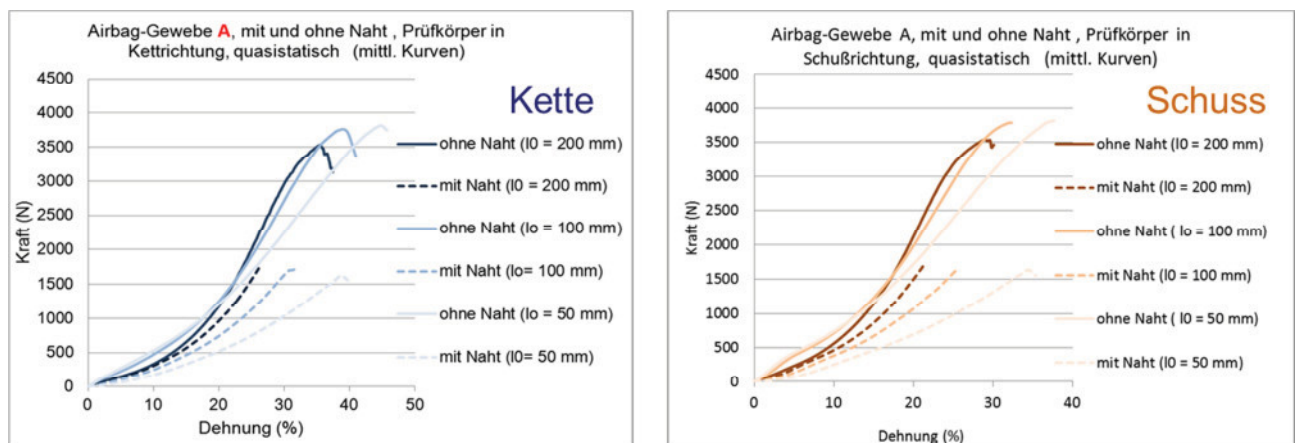
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrade am Beispiel

**Airbaggewebe B:** PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72

Die Ergebnisse für Versuchsgewebe A: EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140 sind in **Abbildung 18** und für Versuchsgewebe B: PA 6,6 EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72 in **Abbildung 19** dargestellt. Die blauen Kurven entsprechen den Zugprüfungen, gemessen in Kettrichtung und die braunen Kurven in Schussrichtung.

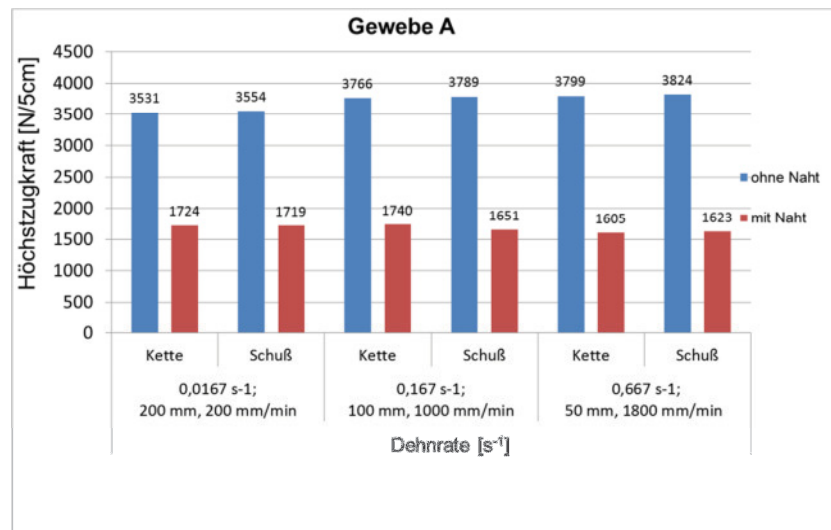
Wie bei den Garnproben zeigte sich auch bei den Streifenproben der bekannte Einfluss der Einspannlänge auf die Höchstzugkraft; mit Reduzierung der Einspannlänge nehmen Höchstzugkräfte und Dehnungswerte zu.

Für die quasistatischen Zugprüfungen an den Gewebestreifen mit Naht wurden die Normprüfkörper wie in Punkt 2.5 nach DIN EN ISO 13935-1 angefertigt und mittels Streifenzugversuch nach DIN EN ISO 13934-1 geprüft (entspricht EASC 9904 0180 -A09). [28, 30, 34] Gemäß Tabelle 5.2 wurde mit 3 verschiedenen Dehnraten (Normzugversuch =  $0,0167 \text{ s}^{-1}$ ,  $0,167 \text{ s}^{-1}$  und  $0,667 \text{ s}^{-1}$  geprüft. In **Abbildung 20** wurden die ermittelten Kraft- Dehnungskurven an den Gewebestreifen mit und ohne Naht (am Beispiel Stichtyp 301) vergleichend für Gewebe A dargestellt.



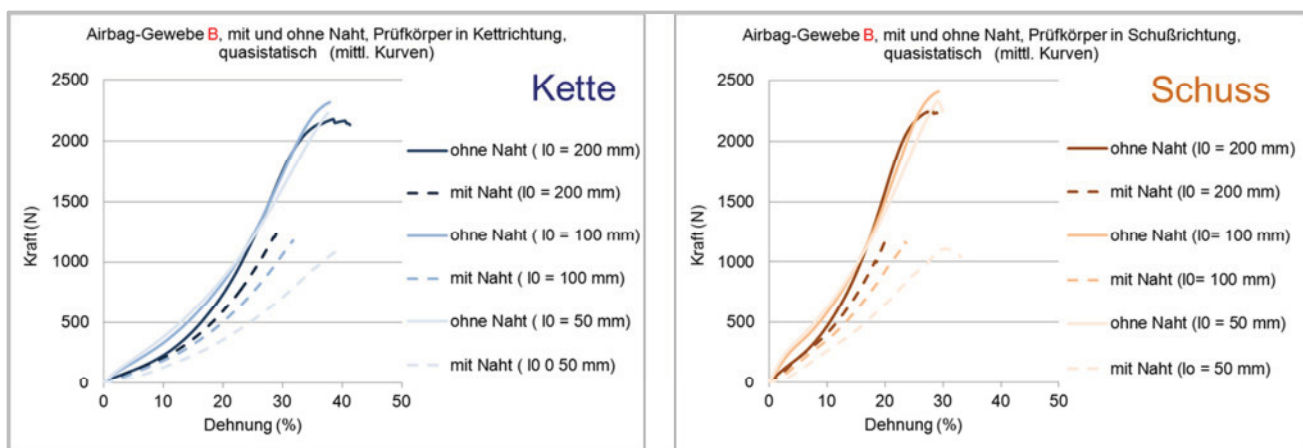
**Abbildung 20:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen mit und ohne Naht,  
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel  
**Airbaggewebe A:** PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140

Grundsätzlich halbiert sich das ermittelte Wertenniveau der Nahthöchstzugkräfte gegenüber den Höchstzugkraftwerten der Gewebe ohne Naht; wobei die Nahthöchstzugkräfte mit zunehmender Dehnrates bei reduzierter Einspannlänge leicht ansteigen. Dieser Werteverlauf wird in **Abbildung 21** eindeutig dargestellt.

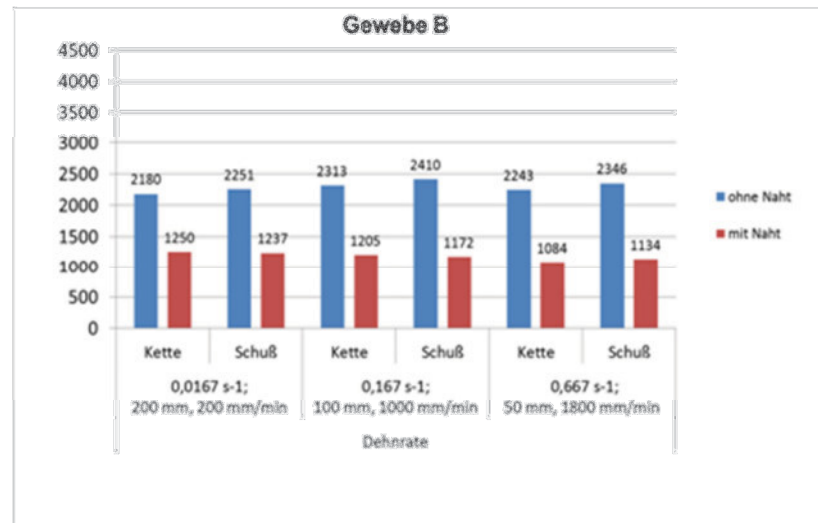


**Abbildung 21:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen mit und ohne Naht, Entwicklung der Höchstzugkräfte in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel **Airbaggewebe A**

In den **Abbildungen 22 und 23** wurden dieselben Abhängigkeiten, ermittelt am Gewebe B mit und ohne Naht dargestellt. Es zeigten sich bei Gewebe B die analogen Abhängigkeiten wie bei Gewebe A.



**Abbildung 22:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen mit und ohne Naht, Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel **Airbaggewebe B: PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72**

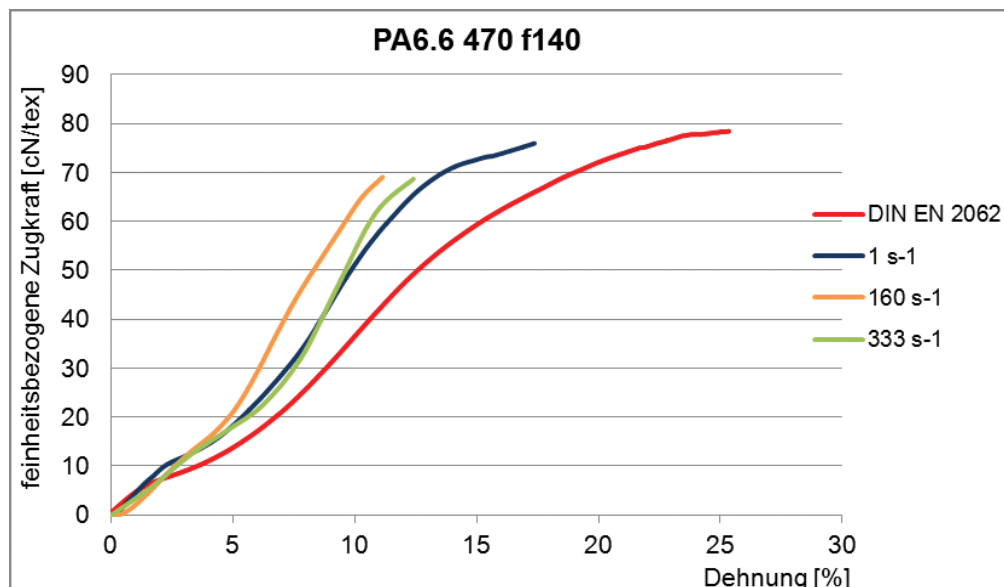


**Abbildung 23:** Quasistatischer Zugversuch an Gewebestreifen mit und ohne Naht.  
Entwicklung der Höchstzugkräfte in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel **Airbaggewebe B**

## 4.2 Dynamische Zugprüfungen

Alle nachfolgenden Bewertungen der dynamischen Zugversuche wurden immer im Vergleich zu den im Normzugversuch erreichten Werten vorgenommen.

### 4.2.1 Dynamische Zugprüfungen an Kett- und Schussgarnen

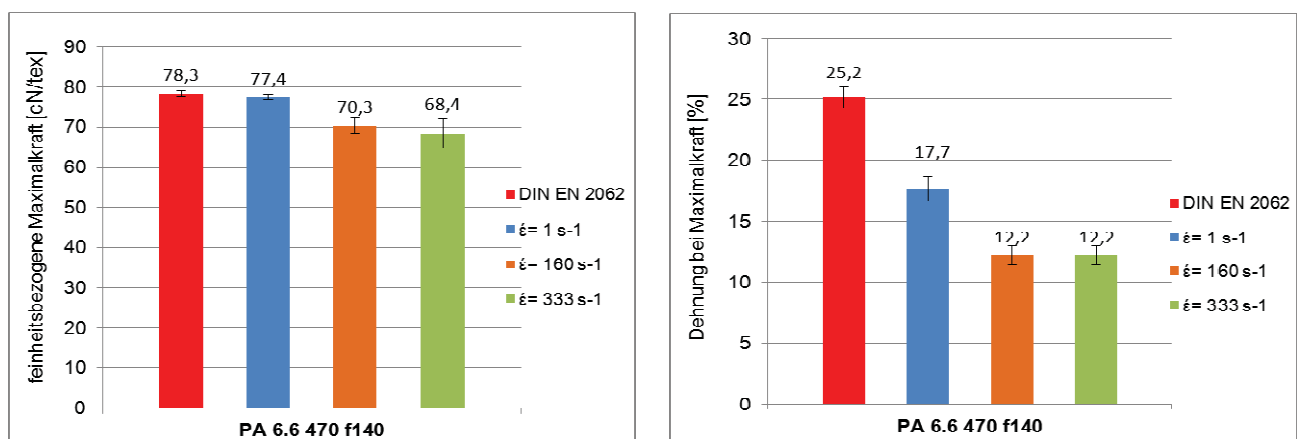


**Abbildung 24:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-  
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel  
PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140 (eingesetzt in Gewebe A)

**Abbildung 24** zeigt die Auswertung aller im Hochgeschwindigkeitsversuch gemessenen Kraft-Dehnung-Kurven für das im Gewebe A in Kette und Schuss eingesetzte Filamentgarn PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140.

Es zeichneten sich deutlich folgende signifikante Trends ab:

- Die Höchstzugkraft der Garne nimmt mit steigender Dehnrates ab; gegenüber dem Normzugversuch um etwa 13 %.
- Die Dehnung bei Höchstzugkraft nimmt mit Erhöhung der Dehnrates gegenüber dem Normzugversuch sogar um 50% ab. Das beweisen die in **Abbildung 25** dargestellten Balkendiagramme.



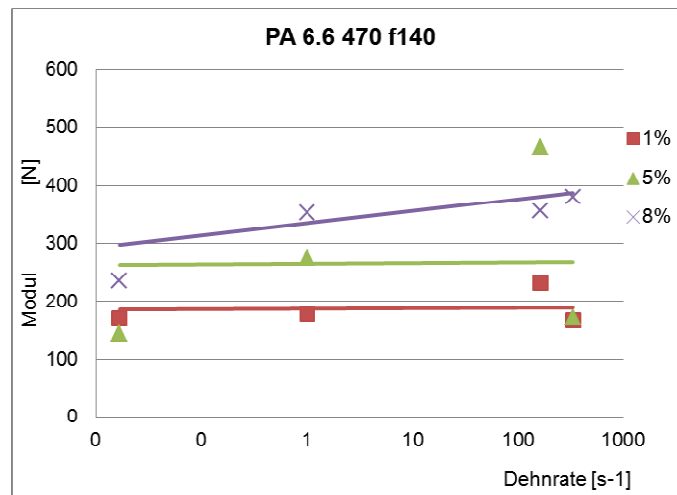
**Abbildung 25:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Feinheitenbezogene Höchstzugkraft und Dehnung bei Höchstzugkraft in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel von PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140 (eingesetzt in Gewebe A)

Weiterhin zeigte sich:

- Mit Erhöhung der Dehnrates erfolgt eine dynamische Entwicklung des Elastizitätsmoduls.
- Die Dynamik der E- Module ist speziell im Anfangsbereich zunehmend.
- Der elastische Teil der Deformation ist bei dynamischer Beanspruchung größer als bei quasistatischer (Die lokalen Module liegen zum Teil 40% über den quasistatischen Werten).

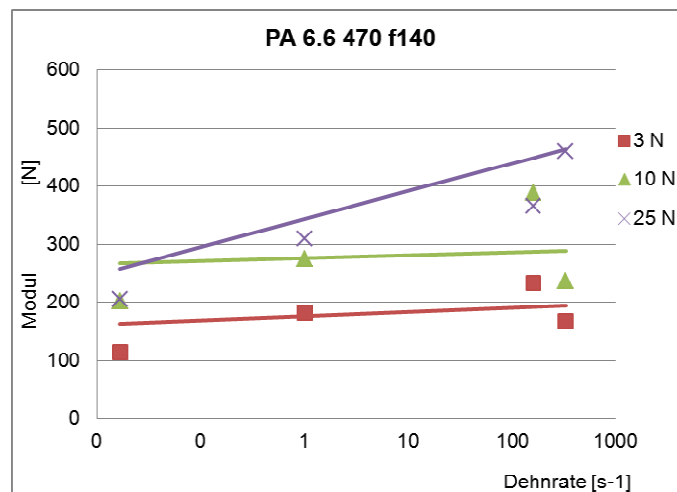
Die ermittelten Trends der Modulentwicklung sind in den **Abbildungen 26 und 27** dargestellt. In Bild 26 wurden die Module bei den Dehnungen 1%, 5% und 8% und in Bild 27 die Module bei vorgegebener Kraft bei 3 N, 10 N und 25 N in Abhängigkeit von der Dehnrates ermittelt und dargestellt.



Dehnrate [s <sup>-1</sup> ]	1%	5%	8%
0,0167	170,5	144,6	235,2
1	177,8	275,6	352,5
160	232,3	466,0	355,0
333	166,7	171,3	380,3

**Abbildung 26:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Module, ermittelt bei vorgegebener Dehnung und in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140



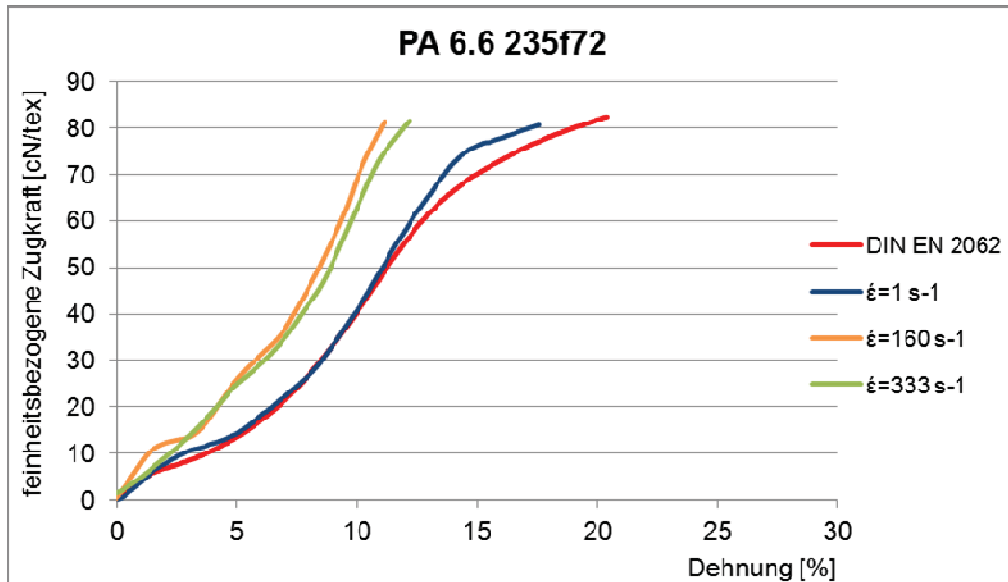
Dehnrate [s <sup>-1</sup> ]	3 N	10 N	25 N
0,0167	114,1	202,1	203,9
1	182,0	275,6	309,1
160	232,2	388,2	365,6
333	166,7	235,2	460,7

**Abbildung 27:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Module, ermittelt bei vorgegebener Kraft und in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel PA 6,6 EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140

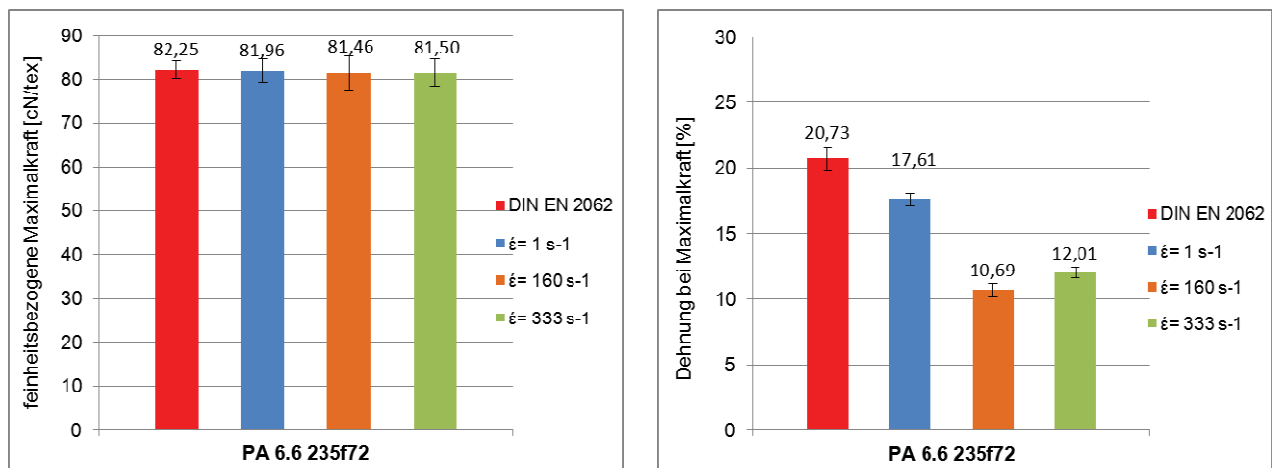


Das in Gewebe B eingesetzte Kett- und Schussgarn zeigte fast übereinstimmende Trends, wie nachfolgend in den **Abbildungen 28 bis 31** dargestellt wurde.



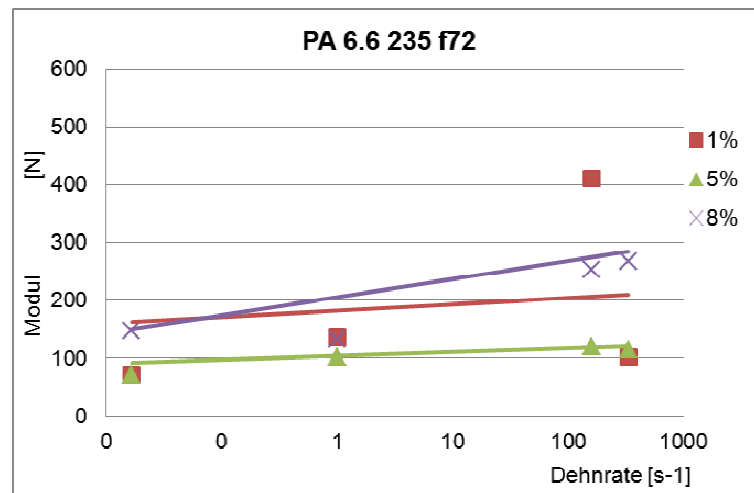
**Abbildung 28:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72 (eingesetzt in Gewebe B)



**Abbildung 29:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

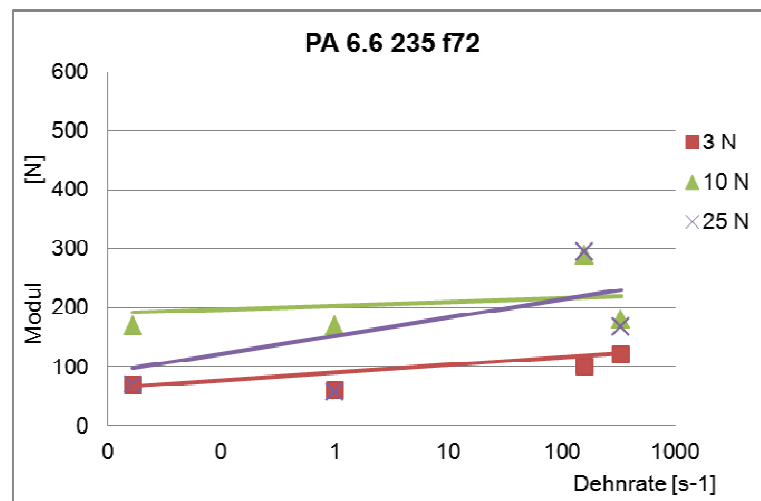
Feinheitsbezogene Höchstzugkraft und Dehnung bei Höchstzugkraft in Abhängigkeit von der Dehnrates am Beispiel von PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72 (eingesetzt in Gewebe B)



Dehnrate [s <sup>-1</sup> ]	1%	5%	8%
0,0167	71,4	72,5	148,0
1	137,2	103,1	133,5
160	412,0	121,1	253,2
333	102,5	114,3	267,4

**Abbildung 30:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Module, ermittelt bei vorgegebener Dehnung und in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72

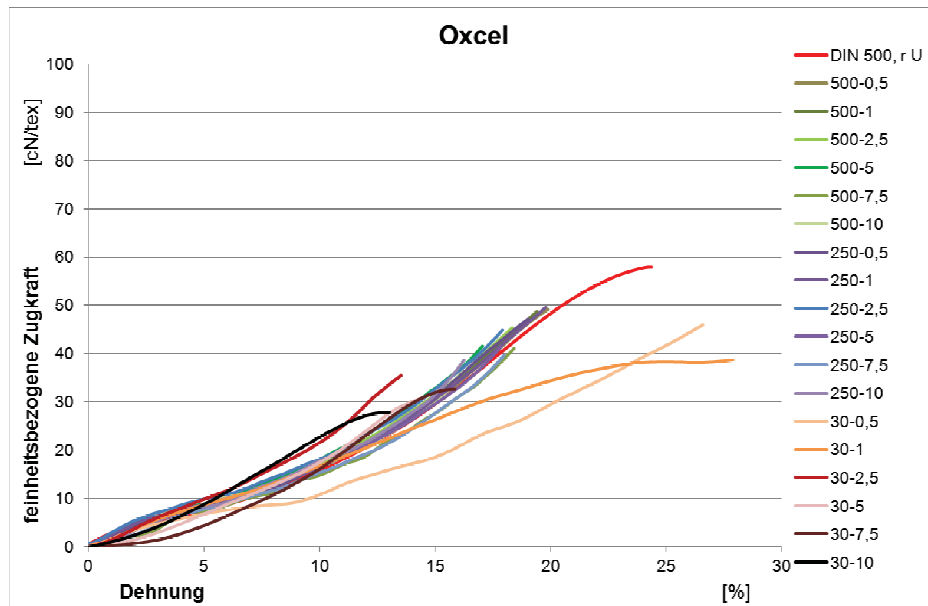


Dehnrate [s <sup>-1</sup> ]	3 N	10 N	25 N
0,0167	69,5	169,5	70,6
1	61,5	170,1	57,5
160	100,4	289,1	295,0
333	120,1	180,2	167,8

**Abbildung 31:** Dynamischer Zugversuch an Kett- und Schussgarnen-

Module, ermittelt bei vorgegebener Kraft und in Abhängigkeit von der Dehnrate am Beispiel PA 6,6 EN 447 HRT, 10022, dtex 235 f72

## 4.2.2 Dynamische Zugprüfungen an Nähgarnen



Versuchsmatrix

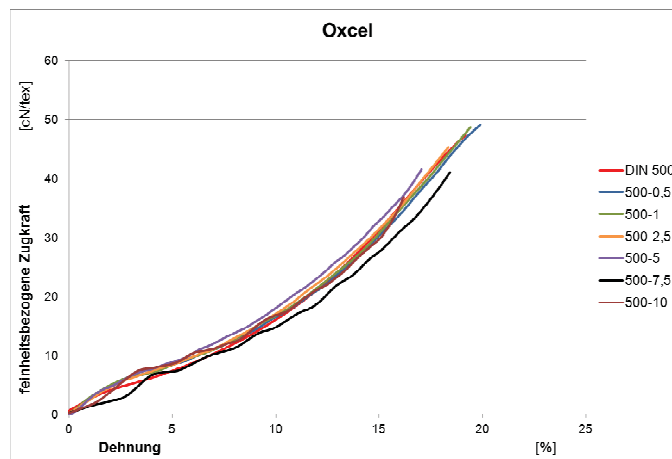
	0,5 m/s	1 m/s	2,5 m/s	5 m/s	7,5 m/s	10 m/s
30 mm	<b>16,67</b>	<b>33,34</b>	<b>83,34</b>	<b>166,67</b>	<b>250</b>	<b>333</b>
250 mm	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
500 mm	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>

**Abbildung 32:** Dynamischer Zugversuch an Nähgarnen-

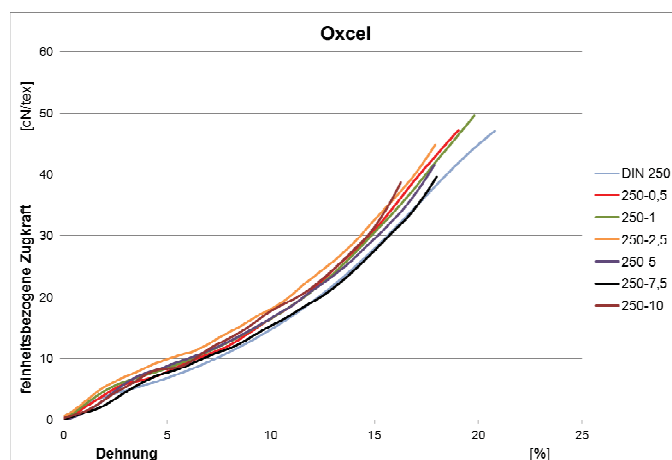
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Dehnrates und  
Einspannlänge am Beispiel Oxcel 20/3 PA 6,6

In **Abbildung 32** wurden die dynamischen Kraft- Dehnungs- Kurven in Abhängigkeit von der Dehnrates dargestellt.

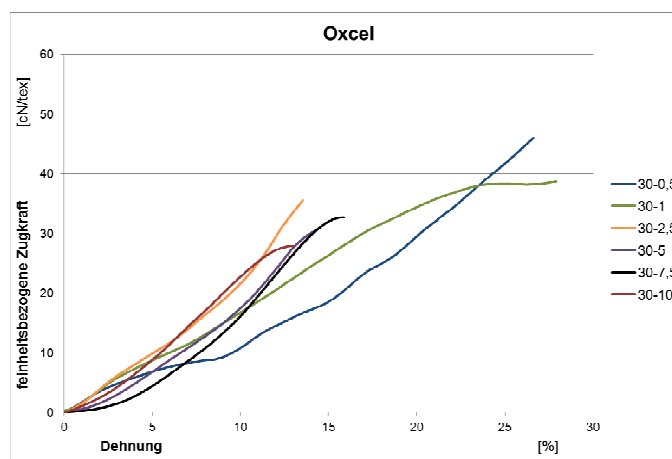
Auch bei den Nähgarnen zeigten die dynamischen Kraft-Dehnungskurven die schon an den Kett- und Schussgarnen ermittelten Entwicklungstrends. Innerhalb der Prüfserien mit jeweils gleicher Einspannlänge nahmen Höchstzugkraft und Dehnung mit zunehmender Dehnrates ab. Bei der kleinsten Einspannlänge 30 mm ist dieser Trend am signifikantesten. Das verdeutlicht **Abbildung 33**, wo die Kurven getrennt nach den 3 gewählten Einspannlängen aufgetragen wurden.



Einspannlänge 500 mm



Einspannlänge 250 mm



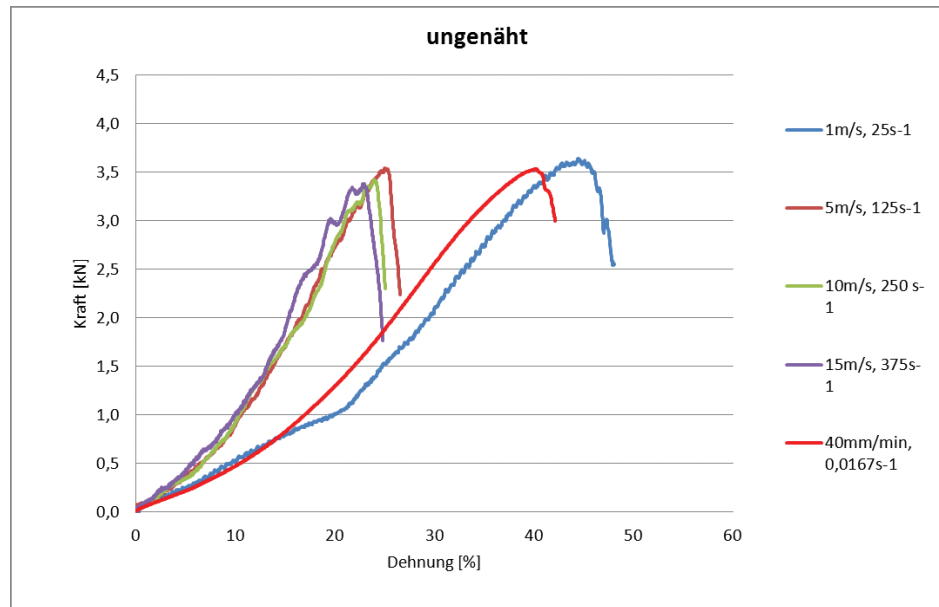
Einspannlänge 30 mm

**Abbildung 33:** Dynamischer Zugversuch an Nähgarnen-

Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Einspannlänge  
und Dehnrage am Beispiel Oxcel 20/3 PA 6,6

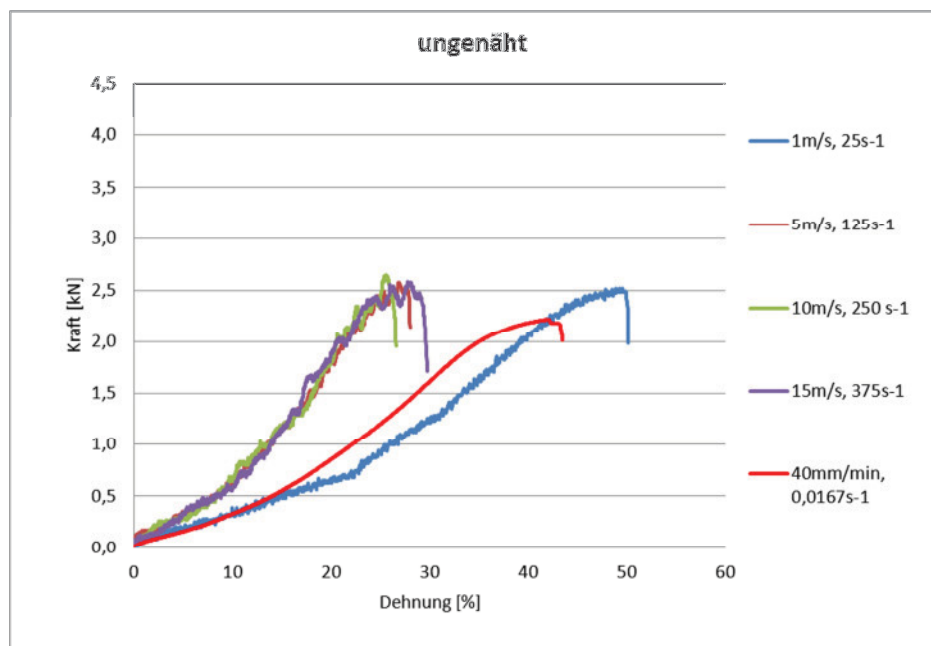
### 4.2.3 Dynamische Zugprüfungen an Gewebestreifen mit und ohne Naht

Die dynamischen Zugversuche an den Gewebestreifen mit und ohne Nähte wurden vorrangig an der HTM 5020 durchgeführt. In **Abbildung 34 und 35** wurden die dynamischen Höchstzugkräfte der ungenähten Streifenproben aus den Airbaggeweben A und B dargestellt.



**Abbildung 34:** Dynamischer Zugversuch an Gewebestreifen A- ohne Naht

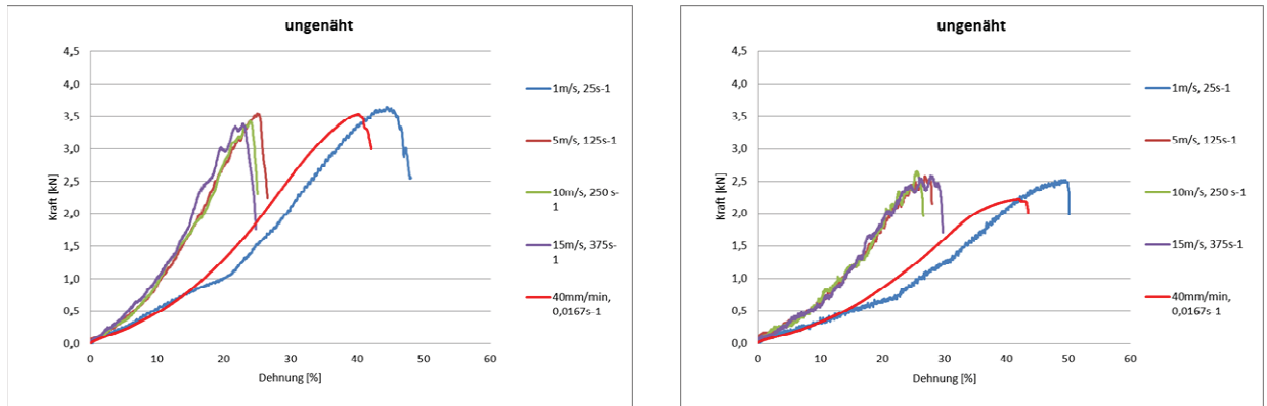
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Dehnrates



**Abbildung 35:** Dynamischer Zugversuch an Gewebestreifen B- ohne Naht

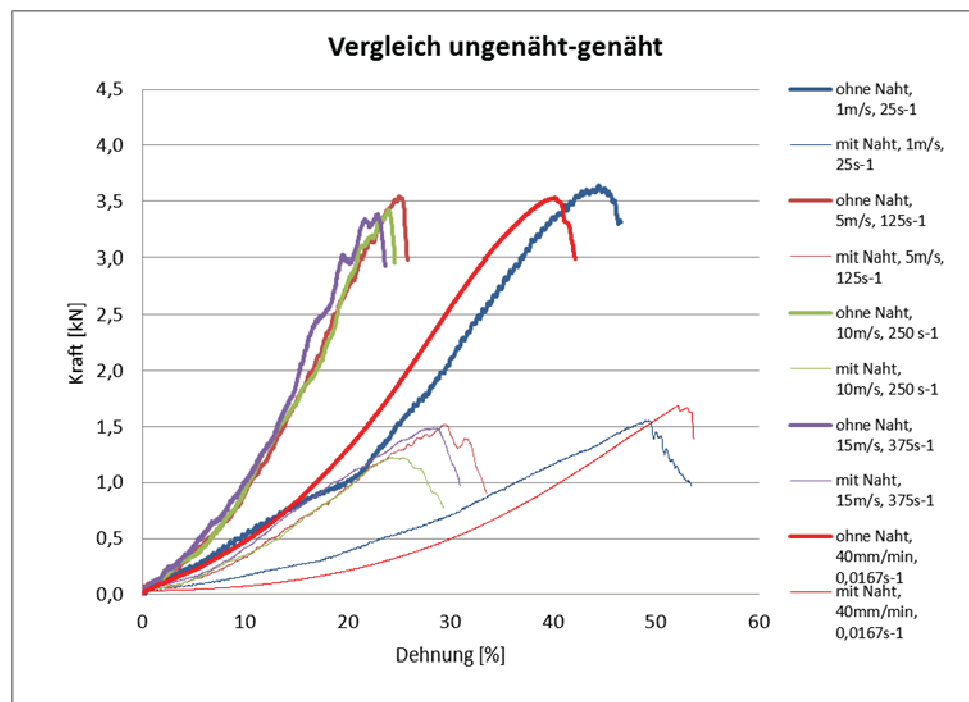
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Dehnrates

Grundsätzlich sind die Höchstzugkräfte bei den Streifenproben aus Gewebe A wertemäßig höher als bei Gewebe B. Das verdeutlicht die Gegenüberstellung beider Diagramme in **Abbildung 36**.



**Abbildung 36:** Vergleich Dynamischer Zugversuch an Gewebestreifen A und B ohne Naht, Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Dehnrates

Bei beiden Geweben nimmt die Höchstzugkraft ab Dehnrates 125 s<sup>-1</sup> leicht ab und die Dehnung nimmt signifikant um mindestens 50% ab und bleibt bis Dehnrates 375 s<sup>-1</sup> auf diesem niedrigen Niveau.



**Abbildung 37:** Dynamischer Zugversuch an Gewebestreifen A- mit und ohne Naht  
Kraft-Dehnungs-Kurven in Abhängigkeit von Dehnrates

**Abbildung 37** zeigt beispielhaft die Ergebnisse der dynamischen Zugversuche, durchgeführt an Airbaggewebe mit und ohne Naht (Stichtyp 401). Erstmals ist es gelungen die Höchstzugkraft an Airbaggewebeproben mit und ohne Naht bei Prüfgeschwindigkeiten bis 15 m/s und einer maximalen Dehnrates von  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen. Bei etwa 25 % der Nahtproben riss nur der Nadelfaden (Oberfaden) und die Gewebefäden verschoben sich an der Naht. Wie bei den quasistatischen Zugversuchen liegen die dynamischen Höchstzugkraftwerte der Streifenproben ohne Naht deutlich über den Werten der dynamischen Nahtfestigkeiten. Mit Zunahme der Prüfgeschwindigkeit und damit der Dehnrates nehmen die Nahtfestigkeiten ab. Die größte Festigkeitsabnahme wurde bei 10 m/s Prüfgeschwindigkeit und einer Dehnrates von  $250 \text{ s}^{-1}$  mit 28 % ermittelt. Signifikant ist auch die Dehnungsabnahme (Nahtquerreidehnung) ab Dehnrates  $125 \text{ s}^{-1}$  mit bis zu 40%.

## **5. Wertende Zusammenfassung**

Typische Anwendungen für technische Textilien mit hohen Sicherheitsanforderungen sind Sicherheitsgurte, Fallschirme, Airbags, textile Bausysteme sowie Komponenten von Schutzbekleidungssystemen. In der Regel bestehen solche textilen Systeme aus mehreren Komponenten, die durch textile Nähte miteinander verbunden werden. Als schwächstes Glied im konfektionierten Gesamtsystem bergen die Nähte damit ein hohes Gefahrenpotential. Bisher wurden textile Nahtverbindungen meist nur mit quasistatischen Prüfungen überprüft und getestet. Die Prüfgeschwindigkeiten des klassischen Zugversuchs an Nähten liegen hier im Bereich von lediglich 200 mm/min. Fehlerhafte und nicht funktionssichere Gewebe und Nähte an Airbagmodulen werden grundsätzlich erst bei der Aufblasprüfung, den Crash- Versuchen und Deployment - Tests am Gesamtairbagmodul ermittelt und führen dann direkt zu Ausschuss. Diese Prüfungen sind teuer und aufwendig.

Bei der Airbag- Nahtentwicklung wird empirisch vorgegangen durch Aufblasversuche. Hierbei kann lediglich die Haltbarkeit oder ein Bruch festgestellt werden. Es existiert keine genormte dynamische Zug-Prüfmethode, bei der mit realen Geschwindigkeiten geprüft werden kann und zahlenmäßig vergleichbare Ergebnisse erhältlich sind. Vor diesem Hintergrund bestand im abgeschlossenen Projekt folgende Aufgabenstellung:

- Ermittlung der apparativen Prüfbedingungen zur dynamischen Zugprüfung von Geweben und Nahtverbindungen bei hohen Prüfgeschwindigkeiten,
- Erarbeitung von konkreten Prüfbedingungen für den Anwendungsfall Airbag zur Reduzierung kostenintensiver Praxissimulationen sowie



- die Erarbeitung konstruktiv und materialseitig entscheidender Parameter für eine sichere Nahtauslegung.

Grundlage und Ansätze dafür waren die im AiF-Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG ermittelten Erkenntnisse und Ergebnisse zur Untersuchung des visko-elastischen Materialverhaltens an ausgewählten Hochleistungsgarnen (auf Basis PA 6.6, PA 4.6 und PET). Diese im TITK vorhandene Prüftechnik wurde nun im Rahmen des Projektes für die Prüfung an Nähgarnen, Geweben und Nahtverbindungen genutzt und entsprechend weiterentwickelt. Das war eine messtechnisch sehr hohe Herausforderung.

Die FuE Arbeiten im abgeschlossenen Projekt betrafen hauptsächlich den Aufbau und die Optimierung des Hochgeschwindigkeitszugprüfstandes zur dynamischen Prüfung an Nähgarnen und Gewebestreifenproben sowie die dazu erforderlichen Prüfkörpergeometrien.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Nahtauslegung in einem Beifahrerairbag gelegt. Entsprechend erfolgte die Materialauswahl und Beschaffung markttypischer Nähgarne und Gewebetypen. Es wurden 2 unbeschichtete Airbaggewebe aus PA6.6 in Leinwandbindung (Gewebe A: EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140; Gewebe B: EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72) sowie 2 Nähgarne Nm 20/3 PA6.6 bondiert ausgewählt und bei unterschiedlichen Prüfbedingungen (Prüfgeschwindigkeit, Einspannlänge, Probenanordnung) definiert untersucht. Zur Ermittlung korrelativer Zusammenhänge dienten parallel vorgenommene quasistatische Prüfungen.

Erstmals wurden Voraussetzungen geschaffen, Nähgarne, Airbaggewebe und – nahtsysteme an einer Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine bei extremen Dehnraten bis  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen, bisher unbekannte Kennwerte zum dynamische Bruchverhalten von Geweben und Nähten zu generieren, Vorschläge für effektivere Prüfprogramme zu erarbeiten und neue Ansatzpunkte zur Produktoptimierung zu formulieren. Damit kann das Versagensverhalten von Airbagluftsäcken besser vorausgesagt und deren Schutzpotenzial erhöht werden.

Das für die vorliegende Fragestellung relevante Parameterfeld hohe Prüfgeschwindigkeit, hohe dynamische Belastung und hohe Dehnrates war nur mittels des im TITK vorhandenen Hochgeschwindigkeitsprüfstandes realisierbar. Die Kenntnisse sind für Hersteller technischer Garne, Textilien und insbesondere die Konfektionäre von Airbagmodulen von entscheidender Bedeutung. Kurzfristige Anwendungen sind absehbar für weitere Sicherheitsmodule: Airbags für Fußgänger, Fahrradfahrer, Fangbänder und Sicherheitsgurte im Automobil, Fallschirmgewebe,

Fallschirmleinen, Fangleinen. Mittel- und langfristig ergeben sich Anwendungen für Schutztextilien und textiles Bauen (Sonnenschutztextilien, Markisen, Zelte) und im textilen Leichtbau.

## **6. Vergleich der ursprünglichen Zielstellung mit den Ergebnissen**

Ob beim textilen Bauen, im Industriebereich oder bei Schutzkleidung, technische Textilien sind immer hochtechnologische und innovative Spezialprodukte. Bei Ihrer Produktentwicklung steht die Funktion im Vordergrund. So gelten auch für Nähte besondere Anforderungen. Mitunter kann Leben von den Nähten abhängen. Wenn es um die Funktion bei Airbaggeweben und Nähten geht, werden keine Kompromisse eingegangen, denn der Airbag muss zu jederzeit und bei allen Bedingungen seine Funktion erfüllen. Bei der Airbag- Nahtentwicklung wird empirisch vorgegangen durch Aufblasversuche. Hierbei kann lediglich die Haltbarkeit oder ein Bruch festgestellt werden. Es gibt keine genormte dynamische Prüfmethode, bei der mit realen Geschwindigkeiten geprüft werden kann und zahlenmäßig vergleichbare Ergebnisse erhältlich sind.

Aufbauend auf den Erkenntnissen und Ansätze aus dem AiF-Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG zur Untersuchung des visko-elastischen Materialverhaltens an ausgewählten Hochleistungsgarnen (auf Basis PA 6.6, PA 4.6 und PET) und der im TITK vorhandene Prüftechnik bestand die wissenschaftlich- technische Zielstellung des abgeschlossenen Projektes in der Erarbeitung von konkreten dynamischen Prüfbedingungen bei hohen Krafteintragungsgeschwindigkeiten für den Anwendungsfall Airbag. Damit sollte es möglich sein, kostenintensive Praxissimulationen nachhaltig zu reduzieren und der Industrie konstruktiv und materialseitig entscheidende Parameter für eine sichere Nahtauslegung zu liefern.

Die im TITK vorhandene servohydraulische Zugprüfmaschine Zwick Z010 wurde Rahmen des Projektes für die Prüfung an Nähgarnen, Geweben und Nahtverbindungen genutzt und entsprechend weiterentwickelt. Untersuchungsschwerpunkte waren Nähgarntyp, Nähstichtyp (sowie die zu verbindenden Gewebekomponenten, die bei unterschiedlichen Prüfbedingungen (Prüfgeschwindigkeit, Probenanordnung) definiert untersucht wurden. Zur Ermittlung korrelativer Zusammenhänge dienten parallel vorgenommene quasistatische Prüfungen sowie Ergebnisse aus simulierenden Praxistests.

**Tabelle 8** vergleicht die im Projektantrag formulierten Ziele mit den Ergebnissen:

**Tabelle 8:** Gegenüberstellung der ursprünglichen Zielstellung mit den Projektergebnissen

Fragestellung, die im Projekt geklärt werden sollten	AP	Ergebnis
Optimierung Prüftechnik für dynamische Prüfungen an Gewebestreifen	1, 4, 6	Es wurden die Erkenntnisse aus dem AiF-Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG weiterentwickelt. Entscheidend war die Auswahl und Testung der Klemmwerkzeuge. Für die dynamischen Prüfungen konnten die leichten Schraubklemmen von Zwick mit der Beschichtung Metall/ Vulkollan bis minimal 50 mm Einspannlänge und Keilspannklemmen mit 40 mm Einspannlänge erfolgreich eingesetzt werden.
Ermittlung der technologischen Prüfparameter für dynamische Streifenzugversuche	2, 3,	Grundsätzlich sind mit der optimierten Prüftechnik im TITK dynamische Streifenzugversuche an technischen Geweben bis zu einer maximalen Dehnrate von $375 \text{ s}^{-1}$ möglich (das entspricht bei einer Einspannlänge von 40 mm einer Prüfgeschwindigkeit von 15 m/s). Das übertrifft bisher angewandte quasistatische Prüfungen um mehrere Zehnerpotenzen.
Erarbeitung konkreter Prüfbedingungen für Dynamische Zugversuche an Airbagnähten	5,6	Erstmals ist es gelungen, Airbagnähte der Stichtypen 301 Doppelsteppstich (Nähte Fangband zu Airbagluftsack) und 401 Doppelkettenstich (Umfangsnähte an Airbackluftsäcken) bei einer Dehnrate von $375 \text{ s}^{-1}$ zu prüfen. Es empfiehlt sich der Einsatz von Probenbreiten bis maximal 2 cm tragende Breite. Bei leichten und weniger steifen Geweben sollten die Proben entsprechend auf 2 cm doppelt gefaltet werden.
Korrelierende quasistatische Testreihen	9	Im Vergleich zu den Ergebnissen aus den quasistatischen Versuchsreihen konnten erstmals neue dynamische Kennwerte für technische Gewebe und Nahtverbindungen formuliert werden.
Erarbeitung von Empfehlungen, Wissenstransfer	10	Die Ergebnisse wurden mit den Industriepartnern im PA diskutiert und ausgewertet. Sie sind die Grundlage für die Weiterentwicklung und Vervollkommnung bestehender Nahtkontrollkarten für Airbag- Luftsäcke. Die im Projekt ermittelten Ergebnisse liefern entscheidende Hinweise für die Überarbeitung bestehender EASC- Normen.EASS

## **7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

### **7.1 Verwendung der Zuwendung nach Arbeitspaketen**

#### Arbeitspaket 1

Teilziel: Ergebniszusammenstellung **aus dem AiF- Vorläuferprojekt Nr. 15925 BG**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten:

Grundlage entsprechender Werkstoffgestaltung und -einstellung ist die genaue Kenntnis des visko- elastischen Materialverhaltens bei Dehnraten über mehrere Größenordnungen in Abhängigkeit relevanter Werkstoffparameter. Diese Eigenschaftscharakterisierung wurde im oben genannten Vorläuferprojekt an ausgewählten Hochleistungsgarnen bearbeitet. Die hierbei erreichten Ergebnisse wurden zusammengestellt. Sie sind die Grundlage für die Fortführung der Arbeiten im Rahmen des Anschlussprojektes zur Untersuchung des Versagensverhaltens dynamisch belasteter Nähgarne und Nahtsysteme bei Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung. Darüber hinaus wurden erste Anpassungsarbeiten am vorhandenen Hochgeschwindigkeits-Prüfstand HTM 2008 für die vorgesehenen Prüfungen an Nähgarne, Airbaggeweben, und Airbagnähten durchgeführt.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	0,5 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	-
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	-
  - Geräte

Für das Arbeitspaket 1 wurde ausschließlich die im TITK vorhandene Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 2008 eingesetzt.
  - Leistungen Dritter

Im Rahmen des Projektes waren auch hochdynamische Versuchsreihen in sicherheitskritischen Temperaturbereichen vorgesehen. Dazu wurde eine am Prüfstand vorhandene Temperaturkammer an die technischen Gegebenheiten angepasst und optimiert. Diese Arbeiten wurden als Leistungen Dritter von Fa. Phönix Werkzeugbau Rudolstadt durchgeführt. Die Kosten betrugen 11.305,00 Euro.

## ▪ Erzielte Ergebnisse

Im o. g. Vorläuferprojekt wurde das Ziel, das visko- elastische Verhalten technischer Garne bei Kurzzeitbeanspruchung mit extremen Dehnraten zu untersuchen, erreicht. Mit dem Prüfstand im TITK ist die Simulation dynamischer Abläufe in realen Vorgängen (z. B. Entfalten eines Airbags) möglich. Mit der HTM 2008 sind folgende Parameter einstellbar:

- direkte Auswertung von dynamischen KD- Kurven
- Prüfungen bis minimal 30 mm Einspannlänge an Garnen
- Prüfungen im Geschwindigkeitsbereich 0,5 m/s bis 10 m/s
- Einstellung eines Dehnratenbereiches von 1 bis 500 s<sup>-1</sup>
- Einsatz der Temperaturkammer im Temperaturbereich von -40 °C bis 85 °C.

Für die nachfolgenden Prüfungen an Streifenproben mit und ohne Naht waren jedoch noch weitere Optimierungsarbeiten an der Temperaturkammer (siehe Leistungen Dritter) und der Einsatz angepasster Probenhaltergeometrien notwendig. Die bisher eingesetzten Probenhalter sind zu schmal. Für Untersuchungen im o.g. Temperaturbereich ist der Einsatz temperaturbeständiger Backenbeläge notwendig. Dazu wurde Kontakt zur Firma Zwick in Ulm aufgenommen (siehe auch Arbeitsetappe 6). Es wurde wie im Projektantrag geplant, eine neue Konstruktionseinheit, bestehend aus einer angepassten Probenhalterpaarung mit variabler Klemmbackenbelegung bestellt.

Die bei Kurzzeitbeanspruchung mit den o.g. Einstellparametern untersuchten Hochleistungsgarne (PA 6,6, PA 4,6 und PET) wiesen folgendes dynamisches Eigenschaftsprofil auf:

- Die Höchstzugkraft der Garne ist von der Dehnrate unabhängig.
- Die Dehnung bei Höchstzugkraft nimmt mit Erhöhung der Dehnrate ab.
- Mit Erhöhung der Dehnrate erfolgt eine dynamische Entwicklung des Elastizitätsmoduls.
- Die Dynamik der E- Module ist speziell im Anfangsbereich zunehmend.
- Der elastische Teil der Deformation ist bei dynamischer Beanspruchung größer als bei quasistatischer (Die lokalen Module liegen zum Teil 50% über den quasistatischen Werten)
- Niedrige Prüftemperaturen bei gleichzeitig zunehmender Dehnrate führen zur Erhöhung der Höchstzugkraft und Abnahme der Dehnung.

## Arbeitspaket 2

### Teilziel: **Materialauswahl für dynamische Prüfungen an Airbag-Geweben und -Nähten**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten:

Nahtsysteme sind technologiebedingt anders als die miteinander sicher zu verbindenden textilen Komponenten konstruiert und gelten als schwächstes Glied im konfektionierten Gesamtsystem. Insbesondere die Umfangsnähte an den textilen Luftsackkonstruktionen (Airbagsysteme) bergen ein hohes Gefahrenpotential. Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Nahtauslegung in einem Beifahrerairbag gelegt. Entsprechend erfolgte im AP 2 die Materialauswahl und Beschaffung markttypischer Nähgarne und Gewebetypen. Zur Materialcharakterisierung wurden die textilen Kennwerte der Nähgarne und Gewebe im TITK-Labor ermittelt.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	1,5 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	-
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	-
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 2 wurde ausschließlich die im TITK vorhandene Standardprüfmaschine Zwick Z010 eingesetzt.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 2 nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

In Absprache mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses wurden 2 unbeschichtete Airbaggewebe aus PA6.6 in Leinwandbindung (Gewebe A: EN 446 HRT, 10016, dtex 470 f140; Gewebe B: EN 447 HRT, 10022 dtex 235 f 72) sowie 2 Nähgarne Nm 20/3 PA6.6 bondiert ausgewählt. Die Gewebetypen wurden von der Firma PHP Wuppertal und die Nähgarne von Amann & Söhne GmbH % Co. KG Bönningheim zur Verfügung gestellt. Die ermittelten textilen Materialkennwerte stimmen mit den Angaben in den Produktdatenblättern überein.

### Arbeitspaket 3

#### Teilziel: **Herstellung geeigneter Prüfkörper**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Im AP 3 erfolgte der Probenzuschnitt von Garn- und Streifenproben für unterschiedliche Einspannlängen und die Anfertigung von Standardnähten. Die Prüfkörpergeometrien entsprachen den Vorgaben der Normprüfungen unter quasistatischer Beanspruchung (Normzugversuch für Garnproben nach DIN EN ISO 2062 und EASC 9200 0180, Zugversuch an Streifenproben mit und ohne Naht nach DIN EN ISO 13943-1 und EASC 9904 0180). Die Nähte wurden zunächst mit konventioneller Nähtechnik genäht. Die gewählten Stichtypen waren der Doppelsteppstich (Stichtyp 301 nach DIN 61400) und der Doppelkettensteppstich (Stichtyp 401 nach DIN 61400).

- Dazu benötigt und eingesetzt:

- wissenschaftlich-technisches Personal

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	1,0 MM
-----------------	-------------------	--------

Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	-
-----------	-------------------	---

Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	1,0 MM
----------	-------------------	--------

- Geräte

Für das Arbeitspaket 3 wurden ausschließlich im TITK vorhandene Geräte- und Nähtechnik eingesetzt.

- Leistungen Dritter

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 3 nicht in Anspruch genommen.

- **Erzielte Ergebnisse**

Die Orientierungsprüfungen (quasistatische und dynamische Zugbeanspruchung) zeigten, dass die gewählten Prüfkörpergeometrien bei Garnen, Geweben und Nahtproben für den weiteren Projektverlauf geeignet waren.

Erste Zugversuche an den Nähten, durchgeführt im Dehnratenbereich von  $0,0167\text{s}^{-1}$  bis  $1\text{ s}^{-1}$ , zeigten jedoch noch keine signifikanten Nahtfestigkeitsunterschiede in Abhängigkeit von der Dehnratenerhöhung. Bei den dynamischen Zugversuchen im AP 6 sollten deutlichere Trends ermittelt werden. Aus diesem Grund waren weitere Optimierungsarbeiten an der Prüftechnologie/-technik des dynamischen Prüfstandes



notwendig, um nach Möglichkeit, Versuchsreihen im Dehnbereich  $\geq 250$  s<sup>-1</sup> durchführen zu können.

#### Arbeitspaket 4

Teilziel: **Aufbau und Optimierung Prüftechnik**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Die FuE Arbeiten im AP 4 konzentrierten sich auf den Aufbau und die Optimierung des Hochgeschwindigkeitszugprüfstandes bzgl. der Maximierung der Prüfgeschwindigkeit und Dehnrates, der Probenklemmung und der angepassten Messtechnik. Es wurden umfangreiche Testreihen durchgeführt:

- Variation des Dehnratenbereichs für die dynamische Prüfung an den Nähgarnen
- Anpassung der Probenklemmung an die Nähgarnqualität (Einfluss Garndrehung, Ausrüstung und Veredlung)
- Variation des Dehnratenbereichs für die dynamische Prüfung an Gewebestreifenproben mit und ohne Naht
- Anpassung der Probenklemmung an die Gewebequalität (Unterschiede Gewebe A und B)
- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	2,5 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	2,0 MM
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	2,0 MM
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 4 wurden ausschließlich im TITK vorhandene Geräte sowie die Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 2008 eingesetzt.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 4 nicht in Anspruch genommen.
- Erzielte Ergebnisse

Die im AP 3 gewählten Probekörperstreifen analog dem o.g. Normzugversuch eigneten sich auch für die dynamischen Zugversuche. Grundsätzlich sind die Einspannlängen bei den Streifenproben bis auf 50 mm minimierbar. Die Backenbeläge Metall glatt waren für die Zugprüfung der Gewebestreifen ohne Naht ausreichend. Für die

Nahtproben (insbesondere die Nähte am Gewebe B) wurden weitere Klemmbelagkombinationen getestet.

### Arbeitspaket 5

Teilziel: **Dynamische Prüfungen an Nähgarnen**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Um grundsätzliche Erfahrungen bei der dynamischen Prüfung von Airbagnähgarnen zu erhalten, wurden im AP 5 dynamische Belastungsszenarien an der HTM 2008 simuliert. Wie im Vorgängerprojekt kamen an der HTM- Maschine zunächst die Parallelklemmen mit den Backenbelägen in der Kombination Vulkollan glatt/Alu glatt zum Einsatz. Es wurden jetzt Dehnraten zwischen 1 und 300 s<sup>-1</sup> getestet (Einspannlänge 500mm, 250mm, 30mm und Verformungsgeschwindigkeiten 0,5 m/s, 1 m/s, 2,5 m/s, 5 m/s, 7,7 m/s und 10 m/s).

- Dazu benötigt und eingesetzt:

- wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	1,00 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	0,40 MM
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	2,15 MM

- Geräte
 

Für das Arbeitspaket 5 wurden ausschließlich im TITK vorhandene Geräte sowie die Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 2008 eingesetzt.

- Leistungen
 

Dritter

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 5 nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

Es zeigte sich, dass mit der Erhöhung der Dehnrates eine Abnahme der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung zu verzeichnen ist. Die Dehnung nimmt bis zu 30% ab. Am stärksten zeigte sich dieser Trend bei sehr kurzen Einspannlängen (30 mm) und hohen Geschwindigkeiten. Da es sich bis zu diesem Zeitpunkt um erste Versuchsergebnisse handelte, waren weitere Versuchsreihen zur Überprüfung der Trendentwicklung konzipiert. Auffällig war das insgesamt sehr niedrig gemessene Wertenniveau sowohl bei den Zugfestigkeits- als auch bei den Dehnungswerten.

## Arbeitspaket 6

### Teilziel: **Dynamische Prüfungen an Streifen und Nahtproben**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Die Arbeiten im AP 6 konzentrierten sich auf die dynamischen Zugprüfungen an den Streifenprobekörpern mit und ohne Naht. Damit sollten dynamische Belastungsszenarien praxisrelevant simuliert werden. Erstmals wurden die optimierten Probenhalter von Zwick getestet.

Dazu musste auch die Messtechnik, Maschinenkalibrierung, Auswertesoftware der dynamischen Zugprüfmaschine HTM 2008 neu angepasst werden.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	3,40 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	0,85 MM
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	3,90 MM
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 6 wurde die Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 2008 aufgerüstet. Die Bestellung wurde bereits am Ende des Arbeitspaketes 1 an die Firma Zwick GmbH in Ulm ausgelöst. Die Kosten betrugen 21.323,61 Euro.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 6 nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

Die jetzt durchgeführten Testreihen schlossen unmittelbar an die Versuche im AP 3 an. Wie bei den dynamischen Garnversuchen wurden Dehnraten zwischen 1 und 300 s<sup>-1</sup> getestet (Einspannlänge Nahtproben 200mm, 100mm, 50mm und Verformungsgeschwindigkeiten 0,5 m/s, 1 m/s, 2,5 m/s, 5 m/s, 7,7 m/s und 10 m/s).

Schwierig gestaltete sich bei den dynamischen Prüfungen insbesondere die Auswertung der gerissenen Nahtproben; d.h. auf welche Art der Bruch der Messprobe zustande kam (im quasistatischen Normzugversuch wird unterschieden: Gewebe reißt im Nahtbereich, Naht reißt, Klemmenbruch außerhalb der Naht, Nähfaden reißt). Das AP 6 erforderte den höchsten Aufwand an experimenteller Forschungstätigkeit.

Grundsätzlich zeichneten sich bei den dynamischen Prüfungen an den Nähten bis 5 m/s folgende Trends ab:

- Der Einfluss der Zuschnittrichtung auf die Höchstzugkräfte beim Nahtbruch ist gering.
- Bei der niedrigsten Einspannlänge treten verstärkt Fadenverschiebungen im Gewebe auf.
- Mit Erhöhung der Dehnrate bei der Einspannlänge 200 mm und 100 mm steigen die Höchstzugkräfte beim Nahtbruch an.

Diese umfangreichen Versuchsreihen nahmen mehr Zeit in Anspruch, als im Projektantrag (Plan Ende Februar 2012) konzipiert. Weitere Versuchsreihen insbesondere am Gewebe B (wie es sich schon im Arbeitspaket 4 zeigte), mussten durchgeführt werden. Es war geplant, bis Anfang April 2012 das AP 6 abzuschließen und dieses Zeitdefizit von 1 Monat bei Arbeitspaket 7 zu kompensieren.

Ab Anfang März 2012 traten vermehrt mechanische Probleme an der Hardware der HTM- Maschine auf. Eine Fehlerbehebung der Monteure von der Firma Zwick vor Ort führte nicht zum Erfolg. Die HTM- Maschine befand sich anschließend vom 22.03.2012 bis 28.09.12 zur Fehlersuche und Reparatur bei der Firma Zwick. Somit war die Maschine für die dynamischen Versuchsreihen gemäß den noch ausstehenden Versuchsreihen aus den Arbeitspaketen 6 bis 8 nicht verfügbar.

Für den erfolgreichen Abschluss des Projektes im beantragten Bewilligungszeitraum ergab sich ein Bearbeitungsdefizit von mindestens 4 Monaten. Es wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 4 Monate (d.h. vom 01.01.2013 bis 31.03.2013) beantragt und vom Fördermittelgeber befürwortet.

Bis zur Behebung des Maschinenschadens an der HTM 2008 wurden die geplanten Testreihen des Arbeitspaketes 9 vorgezogen.

#### Arbeitspaket 9 (vorgezogen)

Teilziel: **Korrelierende quasistatische Testreihen**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Zur Ermittlung korrelativer Zusammenhänge wurden parallel quasistatische Prüfungen an Garnen, Nähgarnen, Geweben und Nahtproben durchgeführt. Dazu wurden die

Bedingungen aus den aktuell geltenden DIN- Vorschriften und EASC-Vorschriften eingehalten:

- EASC 0205 0814	ZSB Luftsack (Nahtfestigkeit, Gewebefestigkeit)
- EASC 9904 0180	Luftsackmaterial (Prüfprogramm Garn und Gewebe)
- EASC 9200 0180	Garne für Airbags und Gurte
- VW 501 06	Näh- und Stickgarn
- DIN EN 2062	Garne- Zugversuch an Garnabschnitten
- DIN EN ISO 13934-1	Gewebe- Streifenzugversuch

Zusätzlich wurden bei den quasistatischen Untersuchungen der Einfluss der Dehnrate durch Variation der Einspannlängen bei den Garnen und Gewebestreifen mit und ohne Naht variiert (Dehnrate Normzugversuch  $0,0167 \text{ s}^{-1}$  bis maximale Dehnrate  $1,2 \text{ s}^{-1}$ ).

Für die quasistatischen Prüfungen an den Nähgarnen, Gewebe- und Nahtproben wurde ein konventioneller Zwick-Prüfautomat eingesetzt. Typische Airbagnahtproben von Beifahrerairbags wurden von der TAG Composites & Carpets GmbH (Vertreter im projektbegleitenden Ausschuss) bereitgestellt.

- Dazu benötigt und eingesetzt:

- wissenschaftlich-technisches Personal

Wissenschaftler (HPA **A-0**) 2,55 MM

Techniker (HPA **C-0**) 0,60 MM

Laborant (HPA **D-0**) 2,35 MM

- Geräte

Für das Arbeitspaket 9 wurde der im TITK vorhandener Zwick-Prüfautomat Z010 eingesetzt.

- Leistungen Dritter

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 9 nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus den quasistatischen Versuchsreihen konnten erstmals neue dynamische Kennwerte für technische Gewebe und Nahtverbindungen formuliert werden.

### Fortsetzung Arbeitspaket 6

#### Teilziel: **Dynamische Prüfungen an Streifen und Nahtproben**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Um das durch die Instandsetzung der HTM 2008 entstandene Zeitdefizit nicht weiter zu erhöhen, wurde von der Firma Zwick die Möglichkeit angeboten, ausgewählte dynamische Zugversuche an der servohydraulischen Prüfmaschine HTM 5020 am Deutschen Kunststoff-Institut in Darmstadt durchzuführen. Es konnten Versuchsreihen an Gewebe-Streifenproben mit und ohne Naht durchgeführt werden.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	0,70 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	0,45 MM
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	0,65 MM
  - Geräte
 

Für die Fortsetzung des Arbeitspaketes 6 wurde von der Firma Zwick kostenfrei eine Versuchsanlage am DKI in Darmstadt bereitgestellt. Alle dafür notwendigen Umrüstungsarbeiten und Sonderanfertigungen wurden ebenfalls von der Firma Zwick kostenlos durchgeführt.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden nicht in Anspruch genommen.
- Erzielte Ergebnisse

Erstmals ist es gelungen, Airbagnähte der Stichtypen 301 Doppelsteppstich (Nähte Fangband zu Airbagluftsack) und 401 Doppelkettenstich (Umfangsnähte an Airbackluftsäcken) bei einer Dehnrates von  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen. Es empfiehlt sich der Einsatz von Probenbreiten bis maximal 2 cm tragende Breite. Bei leichten und weniger steifen Geweben sollten die Proben entsprechend auf 2 cm doppelt gefaltet werden.

### Arbeitspaket 7

#### Teilziel: **Auswertung der Arbeitsschritte 3 - 6**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

In diesem Arbeitspaket wurden alle ermittelten Basiskennwerte (Kraft-Dehnungs-Verläufe, maximal mögliche Dehnraten, systematische und statistische Fehler) sowie

die Einsatzgrenzen für die durchgeführten dynamischen Zugprüfungen an Garnen, Nähgarnen, Gewebestreifenproben mit und ohne Naht definiert.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	2,10 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	1,50 MM
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 7 wurden keine Prüfgeräte eingesetzt.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 5 nicht in Anspruch genommen.

#### ▪ Erzielte Ergebnisse

Es wurde eine entsprechende Prüftechnologie für Streifenproben mit und ohne Naht erarbeitet.

### Arbeitspaket 8

Teilziel: **Anwendungsorientierte dynamische Prüfungen**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Im konkreten Anwendungsfall sind Airbagnähte hohen dynamischen Belastungen und gleichzeitig verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. In diesem Arbeitsschritt wurden deshalb dynamische Zugversuche an den Garnen, Nähgarnen und einer konkreten Airbagnaht (Airbagnahtproben von Beifahrerairbags, bereitgestellt von der TAG Composites & Carpets GmbH) bei -40 °C, 60 °C, 85 °C durchgeführt.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	1,80 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	1,00 MM
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 8 wurde ausschließlich die im TITK vorhandene Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 2008 und die verbesserte Temperaturkammer (siehe auch AP 1) eingesetzt.



- Leistungen Dritter

Leistungen Dritter wurden im Arbeitspaket 8 nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

Die hier erzielten Ergebnisse werden zunächst nur im Rahmen der Mitglieder des PA ausgewertet, sie sind die Grundlage für ein neu eingereichtes Projekt (liegt als Kurzfassung bei der AiF Textil vor).

#### Arbeitspaket 10/11

Teilziel: **Empfehlungen für die Industrie/ Abschlussbericht**

- Verwendung der Zuwendung
  - Durchgeführte Arbeiten

Die ermittelten Ergebnisse wurden im vorliegenden Abschlussbericht zusammengefasst. Daraus resultieren neue Aussagen zur Charakterisierung des Versagensverhaltens dynamisch belasteter Nahtsysteme bei Hochgeschwindigkeitsbelastung. Es wurden Empfehlungen bezüglich der Prüfmethodik erarbeitet.

- Dazu benötigt und eingesetzt:
  - wissenschaftlich-technisches Personal
 

Wissenschaftler	(HPA <b>A-0</b> )	1,60 MM
Techniker	(HPA <b>C-0</b> )	
Laborant	(HPA <b>D-0</b> )	0,65 MM
  - Geräte
 

Für das Arbeitspaket 10/11 wurden keine Geräte eingesetzt.
  - Leistungen Dritter
 

Leistungen Dritter wurden nicht in Anspruch genommen.

- Erzielte Ergebnisse

Erstmals wurden Voraussetzungen geschaffen, Nähgarne, Airbaggewebe und – nahtsysteme an einer Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine bei extremen Dehnraten bis  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen, bisher unbekannte Kennwerte zum dynamische Bruchverhalten von Geweben und Nähten zu generieren, Vorschläge für effektivere Prüfprogramme zu erarbeiten und neue Ansatzpunkte zur Produktoptimierung zu formulieren. Damit kann das Versagensverhalten von Airbagluftsäcken besser vorausgesagt und deren

Schutzpotenzial erhöht werden. Die Kenntnisse sind für Hersteller technischer Garne und Textilien sowie die weiterverarbeitende Industrie von entscheidender Bedeutung. Kurzfristige Anwendungen sind absehbar für Sicherheitstextilien: Airbags für

Fußgänger, Fahrradfahrer, Fangbänder und Sicherheitsgurte im Automobil, Fallschirmgewebe, Fallschirmleinen, Fangleinen. Mittel- und langfristig ergeben sich Anwendungen für Schutztextilien und textiles Bauen (Sonnenschutztextilien, Markisen, Zelte) und im textilen Leichtbau.

Die Leistungen der Industrie sind in der Belegliste vAW detailliert aufgeführt.

## **7.2 Zusammenfassende Wertung der Notwendigkeit und Angemessenheit des Personaleinsatzes**

Die FuE Arbeiten im konzipierten Projekt betrafen hauptsächlich den Aufbau und die Optimierung des Hochgeschwindigkeitszugprüfstandes zur dynamischen Prüfung an Nähgarnen und Gewebestreifenproben. Zur Betreuung und Durchführung der experimentellen Tätigkeit, die Aufbau, Optimierung, Reihenmessungen und Auswertung umfassten, war der Einsatz von 3 Angestellten mit abgeschlossener wissenschaftlicher Ausbildung sowie von 3 Angestellten mit staatlicher Abschlussprüfung (1 Techniker und 2 Laborantinnen) notwendig.

Da der Hochgeschwindigkeitsprüfstand mit der aufwändigen Messtechnik kein Standardprüfgerät und sehr kritisch gegenüber Bedienungsfehler ist, war für die Durchführung der Test- und Prüfreihen vergleichsweise der Einsatz von wissenschaftlichem Personal und auch Laboranten hoch. Die Laborantinnen halfen bei der Probenvorbereitung und den umfangreichen Testreihen. Der Techniker kam bei der Optimierung der Prüftechnik und der Auslegung der Probenklemmung zum Einsatz. Der Personaleinsatz war angemessen und notwendig.

Die durchgeführten Arbeiten entsprachen den für die Umsetzung des Forschungsprojektes notwendigen Tätigkeiten und Arbeitsschritten und waren zur Erreichung des Forschungsziels erforderlich. Es wurden nur solche Arbeiten geleistet, die in Art und Umfang zur Umsetzung des Projektes angemessen waren.

Der Stand der Forschungsarbeiten stimmt mit dem im Forschungsantrag festgelegten Arbeitsschritten/Ablaufplan überein. Die Finanzmittel für Personalausgaben wurden in beantragter Höhe verbraucht.

## **8. Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher sowie innovativer Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten für KMU**

### **8.1 Wissenschaftlich- technischer Nutzen**

Das Auto ist aus der modernen Industrie- und Wissensgesellschaft nicht mehr wegzudenken, vielen Menschen ist es Existenzgrundlage geworden und sichert die tägliche Mobilität. Die deutsche Automobilindustrie steht an der Spitze des internationalen Wettbewerbs. Sie beschäftigt im Jahresdurchschnitt in Deutschland 750.000 Menschen und tätigt einen Umsatz von über 330 Mrd. Euro. Mehr als 20 Mrd. Euro werden in Forschung und Entwicklung investiert. [1] Die wachsenden Anforderungen der Gesellschaft an Umweltverträglichkeit und Sicherheit des Automobils führen zu einschneidenden Veränderungen. Neben Verbesserungen des konventionellen Gurtsystems ist vor allem das Airbagsystem geeignet, das Verletzungsrisiko beim Frontalaufprall weiter zu vermindern.

Die bei den Untersuchungen ermittelten Daten und Zusammenhänge sollen einerseits zu Empfehlungen bezüglich der Prüfmethodik und andererseits Erkenntnisse zum konkreten Materialverhalten dynamisch belasteter Nahtsysteme bei Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung liefern. Das Forschungsvorhaben leistet dazu einen entscheidenden Beitrag; Airbagherstellern, Nähgarnherstellern und Konfektionären sicherheitsrelevanter Produkte werden damit neue Perspektiven und Ansatzpunkte zur Produktoptimierung und Leistungserhöhung in die Hand gegeben. Erstmals wurden die prüftechnischen Voraussetzungen geschaffen, Nähgarne, Airbaggewebe und –nahtsysteme an einer Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine bei extremen Dehnraten bis  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen, bisher unbekannte Kennwerte zum dynamischen Bruchverhalten von Geweben und Nähten zu generieren, Vorschläge für effektivere Prüfprogramme zu erarbeiten und neue Ansatzpunkte zur Produktoptimierung zu formulieren. Damit kann das Versagensverhalten von Airbagluftsäcken besser vorausgesagt und deren Schutzpotenzial erhöht werden.

### **8.2 Wirtschaftlicher Nutzen**

Hochspezialisierte technische bzw. Industrietextilien stellen ein beträchtliches Marktpotential für die heimische Textilindustrie dar. Für den Bereich der technischen

Textilien und deren Einsatz insbesondere in funktionalen Bauteilen für die Sicherung von Menschenleben besteht in Deutschland nach wie vor ein hohes Wachstumspotential.

Die angestrebten Ergebnisse liefern bisher nicht verfügbare Daten, die das viskoelastische Materialverhalten der Nähgarne und Nahtkonstruktionen unter Extrembelastung bei hohen Dehngeschwindigkeiten beschreiben. Die Erarbeitung von konkreten Prüfbedingungen für den Anwendungsfall Airbag führt zur Reduzierung kostenintensiver Praxissimulationen sowie zur Erarbeitung konstruktiv und materialseitig entscheidender Parameter für eine sichere Nahtauslegung. Der Industrie werden entscheidende Hinweise für die geeignete Vorgehensweise bei der weiteren Prüfung, aber auch Produktentwicklung mit den Schwerpunkten Sicherheit und Optimierung in die Hand geben.

Diese Kenntnisse sind für Hersteller technischer Chemiefasern und insbesondere die meist klein- und mittelständischen Hersteller technischer Textilien von entscheidender Bedeutung, um neue Hochleistungsprodukte speziell für sicherheitsrelevante Bereiche zielgerichtet entwickeln zu können. Durch diese Erkenntnisse werden sowohl dem Garnhersteller als auch den Herstellern technischer Textilien verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Produktentwicklung bzw. -optimierung aufgezeigt.

Hauptsächliche Möglichkeiten der Nutzung dieser Forschungsergebnisse bestehen

- in den Fachgebieten: C Sicherheitstechnik und KB Werkstoffe, Materialien
- in den Wirtschaftszweigen: 13 Herstellung von Textilien und 30 Sonstiger Fahrzeugbau.

### **8.3 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU**

Die voraussichtliche industrielle Umsetzung der FuE-Ergebnisse soll in folgendem Zeithorizont erfolgen und damit die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU steigern:

Zeithorizont	Industrielle Umsetzung
<b>Jahr 1- 3 nach Projektabschluss</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung des Prüfstandes durch Industriepartner zur Produkttestung und Simulation von Extrembelastungen zur Verbesserung von Produkten und Entwicklung neuer Produkte,</li> <li>- Durchführung kostengünstigerer Tests neuer Materialien und Fertigungstechniken zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Des Einsatzspektrums von sicherheitsrelevanten Produkten</li> <li>- Aufbau von entsprechendem Prüf- Know-how bei interessierenden Anwendern</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung kundenspezifischer Prüfvorschriften,</li> <li>- Beratung und Anleitung von Personal</li> <li>- Erweiterung des Prüfdienstleistungsangebot OMPG/TITK</li> <li>- Einsatz des erarbeiteten Know-how zur Bearbeitung von FuE-Arbeiten aus der Industrie</li> <li>- Erweiterung des Forschungsdienstleistungsspektrums des TITK</li> <li>- Aquse von Direktaufträge von Airbagherstellern und Materialzulieferern</li> </ul>
<b>Jahr 4 - 10 nach Projektabschluss</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung des Know-hows von Industrieunternehmen aus dem Bereich Airbag durch Modifikation und Anpassung an weitere Anwendungsfälle für hoch dynamisch belastete Nahtsysteme</li> <li>- Bearbeitung darauf aufbauende neue FuE-Projekte,</li> <li>- Erweiterung der Kundendienstleistungen,</li> <li>- Entwicklung und Vermarktung von abgeleiteten Prüfverfahren Für hoch dynamisch belastete Textilkonstruktionen z.B. Untersuchung der Versagensgrenzen bei selten- Ereignis-Determinierten Materialfehlern und Produktionsstörungen</li> </ul>

Die Projektergebnisse sind nach unternehmensbezogener Anpassung unmittelbar und branchenweit für KMU nutzbar. Sie unterstützen somit die Bemühungen der einheimischen Textilindustrie, sich durch Spezialprodukte von Niedriglohnländern anzuheben und tragen zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit bei.

## **9. Zusammenstellung aller Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem Vorhaben veröffentlicht wurden oder in Kürze veröffentlicht werden sollen**

M. Weiß-Quasdorf, L. Gomboc, Ch. Hauspurg , R. Lützkendorf  
Versagensverhalten dynamisch belasteter Hochleistungsgarne bei  
Hochgeschwindigkeitsbelastung, 51. Chemiefasertagung Dornbirn, 19.09.2012

Vorgesehen sind:

Veröffentlichung in der Zeitschrift Technische Textilien  
Manuskript in Vorbereitung

Vortrag vor dem Arbeitskreis Gewebe, IV. Quartal 2013

## **10. Angaben über gewerbliche Schutzrechte**

Im Rahmen des Projektes wurden keine gewerblichen Schutzrechte erworben oder angemeldet.

## **11. Einschätzung zur Realisierbarkeit des Transferkonzepts (aktualisierter Ergebnistransfer)**

Das bearbeitete Forschungsvorhaben war nur durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Industriepartnern im Projektbegleitenden Ausschuss, das waren Hersteller technischer Garne und Textilien, der Anwenderindustrie, Vertreter der Materialprüfung, Prüfgeräteherstellung und Kleinserienfertigung, realisierbar. Durch die maßgebliche Beteiligung von klein- und mittelständischen Unternehmen aus den Bereichen Konfektion von Sicherheitstextilien, textile Prüftechnik und Werkzeugbau konnte das Projekt erfolgreich durchgeführt werden: Das TITK Rudolstadt führte die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch, die Garnhersteller und Konfektionäre stellten Nähgarne, Nahtsysteme und technisches Know how für die Airbagfertigung mit ein und die beteiligten Prüfgerätehersteller und Werkzeugbauer führten notwendige Anpassungsarbeiten für die dynamische Prüftechnik durch. Die dynamische Prüftechnik stellte unter diesen extremen Bedingungen eine große methodische Herausforderung dar. Das betraf insbesondere Probleme mit der Hydraulik und den

Spannwerkzeugen (siehe dazu auch die Ausführungen in Punkt 8 zur Erfüllung der Arbeitspakete).

Folgende Einzelergebnisse wurden erreicht:

- Aufbau und Optimierung eines dynamischen Prüfstandes zur Simulation von dynamischen Belastungsszenarien an den hochfesten, technischen Filamentgarnen und Nähgarnen (insbesondere für Airbagnähte).

Vermarktungspotential:

- Nutzung des Prüfstandes durch die Industriepartner zur kostengünstigen Produkttestung und Simulation von Extrembelastungen.
- Verbesserung und Neuentwicklung von Produkten mittels Vergleichsweise einfacher und weniger kostenintensiver Materialtests.
- Erhöhung der Leistungsfähigkeit und des Einsatzspektrums von Sicherheitsprodukten.

- Erweiterung der Test- und Prüfmöglichkeiten zur Simulation dynamischer Belastungsszenarien an Standard- und Airbagnähten.

Vermarktungspotential:

- Erweiterung des Prüfdienstleistungsangebot OMPG/TITK insbesondere für Materialprüfungen an Airbaggeweben, Nähten und Sicherheitsgurten.

- Erarbeitung von Empfehlungen für die Industrie und dabei insbesondere Aussagen zum Versagensverhalten dynamisch belasteter Nahtsysteme bei Hochgeschwindigkeitsbelastung in Airbagsystemen.

Vermarktungspotential:

- Einsatz des erarbeiteten Know-how zur Bearbeitung von FuE-Arbeiten aus der Industrie,
- Erweiterung des Forschungsdienstleistungsspektrums des TITK,
- Aufbau von Prüf- Know-how beim Anwender,
- Entwicklung kundenspezifischer Prüfvorschriften, Beratung und Anleitung von Personal.

- Formulieren neuer Perspektiven und Ansatzpunkte zur Optimierung und Leistungssteigerung von Luftsackkonstruktionen in Airbagsystemen (z. B. Minimierung Material zur Gewichtseinsparung und damit Ressourcenschonung).

Vermarktungspotential:

- Akquise von Direktaufträgen von Airbagherstellern und Materialzulieferern

- Anwendung der Ergebnisse auf andere hochtechnologische und innovative Spezialprodukte mit einem hohen Funktions- und Sicherheitspotential.

Vermarktungspotential:

- Nutzung des Know-hows aus dem Bereich Airbag durch Modifikation und Anpassung an weitere Anwendungsfälle für hoch dynamisch belastete Nahtsysteme.
- Darauf aufbauend ergeben sich weitere FuE-Projekte sowie Kundendienstleistungen.
- Entwicklung und Vermarktung von abgeleiteten Prüfverfahren für hoch dynamisch belastete Textilkonstruktionen (z.B. Untersuchung der Versagensgrenzen bei selten- Ereignis -determinierten Materialfehlern und Produktionsstörungen).

Die enge Vernetzung der Industrie bzw. der Partner im Projektbegleitenden Ausschuss ermöglichte die Realisierung aller geplanten Arbeitsergebnisse. Speziell für den Anwendungsfall Airbag führt das zu einer enormen Reduzierung kostenintensiver Praxissimulationen sowie der Erarbeitung konstruktiv und materialseitig entscheidender Parameter für eine sichere Nahtauslegung.

Entscheidend für die erzielten Einzelergebnisse und der sich daraus entwickelnden Vermarktungspotentiale war und ist der Ergebnistransfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft. In den folgenden **Tabellen 9 und 10** sind alle Maßnahmen für den Ergebnistransfer in die Wirtschaft dargestellt. Die überwiegenden Maßnahmen sind bereits realisiert.



**Tabelle 9:** Realisierte Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens

Zeitraum	Maßnahme	Ziel/Bemerkung	Status
halbjährlich	Beratung des projektbegleitenden Ausschusses	Fortschrittsbericht, Ergebnisdiskussion, Abstimmung, Festlegungen, Maßnahmen → Das ermöglichte frühzeitig eine praxisbezogene Beurteilung der Zielvorgaben mit den erreichten Ergebnissen.	Durchgeführt wurden <u>PA- Sitzungen:</u> 22.03.2011 18.10.2011 15.05.2012 06.02.2013
fortlaufend	Während der Laufzeit des Projektes wurden ausgewählte Ergebnisse vorgestellt	→ Präsentation im Rahmen der wissenschaftlichen Kolloquien im TITK → Schulung Mitarbeiter → Chemiefasertagung Dornbirn	20.02.2012 Hauskolloquium  26.09.2012  19.09.2012 Vortrag
	Weiterbildung von Mitarbeitern aus der KMU und Vergabe von Studienarbeiten zur Problematik des Forschungsvorhabens	→ Produkttestung → Simulation von Extrembelastungen → Vermittlung wissenschaftlicher Vorgehensweisen	Magisterarbeit Frau Lidija Gomboc Abschluss 10.2011
Haushalts- jahr  2012/2013	Berichtslegung	Zusammenfassung, Auswertung, Diskussion der Ergebnisse → Formulierung neuer Perspektiven und Ansatzpunkte für weitere Industrieanwendungen bzw. sicherheitsrelevante Produkte	Zwischenbericht 28.02.2012  Einreichung eines Nachfolgeprojektes bei der AiF 31.05.2013 (Kurz Antrag)  Abschlussbericht 28.06.2013
	Erarbeitung eines TITTK- Informationsblattes	Kurzdarstellung der wichtigsten FuE- Ergebnisse → Aktueller Ergebnistransfer auf Fachtagungen, Informationsmessen	Poster und Flyer Techtextil Frankfurt 2013,

**Tabelle 10:** Geplante Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens

Zeitraum	Maßnahme	Ziel/Bemerkung
2013	Veröffentlichung in Fachzeitschriften	Wissenschaftliche Publikation der Ergebnisse und Darstellung der Anwendungsmöglichkeiten → Technische Textilien, Melliand Textilberichte → Internet-Webseite TITK → Endbericht erhältlich über Unibibliothek Jena und TIP Hannover
ab 2013	Information und Ergebnisdarstellung auf nationalen und internationalen Messen, Tagungen, Symposien	→ AK Gewebe Ingolstadt → Techtextil Frankfurt, MFC Dornbirn → mtex Chemnitz → Veranstaltungen im Rahmen Bayern Innovativ, Cluster Automotive und neueWerkstoffe
2013/2014	Ergänzung DIN - Normung	Erarbeitung von Empfehlungen bezüglich eines Normungsvorschlages zur Prüfung von dynamisch belasteten Nahtsystemen (im Rahmen INS)
2014	Erarbeitung von Empfehlungen für die KMU u. interessierenden Industriepartnern	→ Erweiterung des Dienstleistungsspektrums des TITK (FuE, dynamische Prüfungen) → Aufbau von Prüf- Know- how bei Anwendern → Entwicklung kundenspezifischer Prüfvorschriften → Beratung und Anleitung von Personal
2014 und nachfolgend	Entwicklung von abgeleiteten Prüfverfahren für hoch dynamisch belastete Konstruktionen	Anwendung der Ergebnisse auf andere Spezialprodukte mit hohem Funktions- und Sicherheitspotential → <b>Fortführung der FuE-Arbeiten im Rahmen von AiF- Projekten</b> <b>Aspekte:</b> Minimierung Gewicht, Airbagfaltung, Airbagpackage

Darüber hinaus werden die sich bietenden Transfermöglichkeiten der im Projektbegleitenden Ausschuss mitarbeitenden Industrieunternehmen genutzt. Mit den abgeschlossenen und noch geplanten Maßnahmen werden gute Voraussetzungen für den Transfer in die Wirtschaft geschaffen.

## **12. Danksagung**

Wir danken der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e. V. Reinhardtstraße 12 - 14, 10117 Berlin für die finanzielle Förderung des IGF-Vorhabens 16825 BR, die über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages erfolgte.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Des Weiteren gilt unser Dank den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses für die konstruktive Diskussion und Hilfestellung während der Projektbearbeitung.

### **13. Literaturverzeichnis**

- [ 1] VDA Verband der Deutschen Automobilindustrie, Jahresbericht 2009  
www.vda.de./de./Zahlen/Jahreszahlen/automobilproduktion
- [ 2] US Patent No. 2649 311, Erfinder: John W: Hetrick
- [ 3] H. R. Ross, U. Bönsch, Neue zukunftsorientierte Airbag- Gewebe, 36. Int. Chemiefasertagung Dornbirn, 17. - 19. Sept. 1997
- [ 4] B. Wulforth, *Textile Fertigungsverfahren*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1998
- [ 5] [http://www.cop-gmbh.de/schutzwesten\\_kugelsichere\\_weste.php](http://www.cop-gmbh.de/schutzwesten_kugelsichere_weste.php)
- [ 6] H. Koppenstein, T. Fischer, Technische Textilien an Mercedes- Benz-Fahrzeugen am Beispiel Airbag und Verdeck, 36. Int. Chemiefasertagung Dornbirn, 17.- 9. Sept. 1997
- [ 7] DITV Denkendorf, DTNW Krefeld, TITK Rudolstadt, Untersuchung des visko-elastischen Verhaltens technischer Garne bei Kurzzeitbeanspruchungen mit hoher Dehngeschwindigkeit“ (Forschungsvorhaben Nr. : 15925 BG, 01.12.2008 bis 30.11.2010)
- [ 8] M. Keuerleber, Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Kunststoffen bei hohen Dehnraten am Beispiel von PP, Dissertation Universität Stuttgart (IKP), 2006
- [ 9] J. Lünenschloß, Textil. Praxis, 16 (1961) 182
- [10] O. Becker, W. Stein, G. Lenßen, H. van der Weyden, Melliand Textilber., 65 (1984) 442
- [11] M. Beier und E. Schollmeyer, Angew. Makromol. Chem., 168 (1989) 53-79
- [12] G.W: Urbanczyk, Faserforsch. Textiltech., 9 (1958) 488
- [13] G. Holden, J.Text.Inst., 50 (1959) T41
- [14] J. Szosland und M. Scolzynski, Textiltechnik (Leipzig), 27 (1977) 302
- [15] D. Roylance, Text.Res. J., 47 (1977) 679
- [16] R.-D. Reumann, Dissertation, TU Dresden 1975
- [17] W. Bobeth, *Textile Faserstoffe*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1993
- [18] M. Beier und E. Schollmeyer, Angew. Makromol. Chem., 168 (1989) 37-79, 169 (1989) 1-15
- [19] Y. Wang und Y.M. Xia, Composites, Part A, 29(1998) 1411-1415
- [20] Y. Wang und Y.M. Xia, Composites, Part A, 30 (1999) 1251-1257
- [21]..Y. Wang, Y.M. Xia und Y. Jiang, Appl. Composite Mat. 8(2001) 297-306

- [22] J. Xiong, B. Gu und S. Wang, J. Dong Hua Univ., 19 (2002) 54-58
- [23] B. Gu und X. Pan, J. Dong Hua Univ., 19 (2002) 5-9
- [24] T.A. Godfrey, J. Text. Inst., Part 1: Fibre Science and Textile Technology, 92 (2001) 16-33
- [25] Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, DITF; Universität Karlsruhe, Institut für Mechanik: Entwicklung extrem leichter durchstichfester bzw. schussfester Schutzkleidung mit Hilfe der rechnergestützten Simulation: AiF 12813 N, 2005
- [26] A. Klein, Airbag- Nahtkonstruktionen, DWI Reports 1995/114, S. 265-279
- [27] R.-D. Reumann, *Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungsindustrie*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2000
- [28] DIN EN ISO 13 935-01 Norm, 1999-04  
Textilien- Zugversuche an Nähten in textilen Flächengebilden und Konfektionstextilien- Teil1: Bestimmung der Höchstzugkraft von Nähten mit dem Streifen-Zugversuch (ISO13935-1:1999); Deutsche Fassung ENISO13935-1:1999
- [29] DIN EN ISO 13 935-02 Norm, 1999-04  
Textilien- Zugversuche an Nähten in textilen Flächengebilden und Konfektionstextilien – Teil2: Bestimmung der Höchstzugkraft von Nähten mit dem Grab-Zugversuch (ISO13935-2:1999); Deutsche Fassung ENISO13935-2:1999
- [30] DIN EN ISO 13934-01 Norm, 1999-04  
Textilien- Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden – Teil1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch (ISO13934-1:1999); Deutsche Fassung ENISO13934-1:1999
- [31] DIN EN ISO 2062 Norm, 1995-05  
Textilien- Garne von Aufmachungseinheiten- Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung von Garnabschnitten (ISO 2062:1993); Deutsche Fassung ENISO2062:1995
- [32] N. Zimmermann, Alternative Fügeverfahren am ITA, TT 02 (2008)
- [33] DIN 61400 Norm, 2002-04  
Nähstichtypen, Einteilung und Begriffe (ISO 4915: 1991, modifiziert)
- [34] EASC 9904 0180 (A09): Luftsack- Material, Anforderungen und Prüfbedingungen; European Airbag Standardisation Committee: 11.12.2009
- [35] EASC 9200 0180 (A00): Garn, Anforderungen und Prüfbedingungen; European Airbag Standardisation Committee: 04.04.2007
- [36] EASC 0205 0814 (A00): Zsb. Luftsack, Anforderungen und Prüfbedingungen; European Airbag Standardisation Committee: 04.04.2007
- [37] DIN ISO 4916:2002-04 (D)  
Nähmaschinen - Nähnahttypen - Einteilung und Begriffe (ISO 4916:1991)

- [38] Amann Group: Focus Nähen und Sticken- Support 2,  
Verarbeitungsempfehlungen – 3.1 Stichtypen, S. 44-49
- [39] Meyers Marc A. *Dynamic behavior of materials*. Wiley-IEEE1994.
- 40] Finckh Hermann. Hochgeschwindigkeits- Zugprüfung an technischen Garnen.  
Zwick/Roell, 1. Textil- Symposium. Ulm 2011.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Ziel der Arbeiten	1
1.1	Anlass für den Forschungsantrag	1
1.2	Aufgabenstellung	2
2.	Stand der Technik	3
2.1	Allgemeine Bedeutung von Airbagsystemen im Automobil	3
2.2	Aufbau eines Airbagmoduls	4
2.3	Allgemeine Anforderungen an Airbaggewebe und Nähte	5
2.4	Prüfung des Airbags auf seine Funktionssicherheit	6
2.5	Derzeitiger Wissensstand zur Prüfung des visko- elastischen Verhaltens an Garnen	7
2.6	Prüfung an Nähgarnen und Airbag-Nahtkonstruktionen	10
3.	Experimentelles	16
3.1	Verwendete Materialien	16
3.1.1	Airbaggewebe / Kett- und Schussfäden	16
3.1.2	Nähgarne	18
3.1.4	Nahtkonstruktionen	18
3.2	Einstellparameter Dehnrage	19
3.3	Quasistatische Zugprüfung	20
3.3.1	Beschreibung Versuchstand - Zwick Z010	20
3.3.2	Versuchsmatrix quasistatische Zugversuche	21
3.4	Dynamische Zugprüfung	22
3.4.1	Aufbau und Optimierung Versuchstand	22
3.4.1.1	Servohydraulische Zugprüfmaschine HTM 2008	22
3.4.1.2	Servohydraulische Zugprüfmaschine HTM 5020	25
3.4.2	Versuchsmatrix Hochgeschwindigkeitszugversuche	26
4.	Beispielhafte Ergebnisse	28
4.1	Quasistatische Zugprüfungen	28
4.1.1	Quasistatische Zugprüfungen an Kett- und Schussgarnen	28
4.1.2	Quasistatische Zugprüfungen an Nähgarnen	31
4.1.3	Quasistatische Zugprüfungen an Geweben mit und ohne Naht	34
4.2	Dynamische Zugprüfungen	37
4.2.1	Dynamische Zugprüfungen an Kett- und Schussgarnen	37
4.2.2	Dynamische Zugprüfungen an Nähgarnen	42
4.2.3	Dynamische Zugprüfungen an Geweben mit und ohne Naht	44
5.	Wertende Zusammenfassung	46
6.	Vergleich der ursprünglichen Zielstellung mit den Ergebnissen	48

7.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	50
7.1	Verwendung der Zuwendung nach Arbeitspaketen	50
7.2	Zusammenfassende Wertung der Notwendigkeit und Angemessenheit des Personaleinsatzes	62
8.	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher sowie innovativer Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten für KMU	63
8.1	Wissenschaftlich- technischer Nutzen	63
8.2	Wirtschaftlicher Nutzen	
8.3	Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU	64
9.	Zusammenstellung aller Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem Vorhaben veröffentlicht wurden oder in Kürze veröffentlicht werden	66
10.	Angaben über gewerbliche Schutzrechte	66
11.	Einschätzung zur Realisierbarkeit des Transferkonzepts - aktualisierter Ergebnistransfer-	66
12.	Danksagung	71
13.	Literaturverzeichnis	72



## Zusammenfassung

### Aufgabenstellung

Ob beim textilen Bauen, im Industriebereich oder bei Schutzkleidung, technische Textilien sind immer hochtechnologische und innovative Spezialprodukte. Bei Ihrer Produktentwicklung steht die Funktion im Vordergrund. So gelten auch für Nähte besondere Anforderungen. Mitunter kann Leben von den Nähten abhängen. Wenn es um die Funktion bei Airbaggeweben und Nähten geht, werden keine Kompromisse eingegangen, denn der Airbag muss zu jederzeit und bei allen Bedingungen seine Funktion erfüllen. Bei der Airbag- Nahtentwicklung wird empirisch vorgegangen durch Aufblasversuche. Hierbei kann lediglich die Haltbarkeit oder ein Bruch festgestellt werden. Diese Tests sind aufwendig und teuer. Es gibt keine genormte dynamische Prüfmethode, bei der mit realen Geschwindigkeiten geprüft werden kann und zahlenmäßig vergleichbare Ergebnisse erhältlich sind.

Zielstellung im Projekt war die Ermittlung apparativer Prüfbedingungen zur dynamischen Zugprüfung von Geweben und Nahtverbindungen bei hohen Prüfgeschwindigkeiten sowie die Erarbeitung von konkreten Prüfbedingungen für den Anwendungsfall Airbag zur Reduzierung kostenintensiver Praxissimulationen.

### Erzielte Ergebnisse

Die FuE Arbeiten im abgeschlossenen Projekt betrafen hauptsächlich den Aufbau und die Optimierung eines vorhandenen Hochgeschwindigkeitszugprüfstandes zur dynamischen Prüfung an Nähgarnen und Gewebestreifenproben sowie die dazu erforderlichen Prüfkörpergeometrien. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Nahtauslegung in einem Beifahrerairbag gelegt.

Erstmals wurden Voraussetzungen geschaffen, Nähgarne, Airbaggewebe und – nahtsysteme an einer Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine bei extremen Dehnraten bis  $375 \text{ s}^{-1}$  zu prüfen, bisher unbekannte Kennwerte zum dynamische Bruchverhalten von Geweben und Nähten zu generieren, Vorschläge für effektivere Prüfprogramme zu erarbeiten und neue Ansatzpunkte zur Produktoptimierung zu formulieren. Damit kann das Versagensverhalten von Airbagluftsäcken besser vorausgesagt und deren Schutzpotenzial erhöht werden.

Das für die vorliegende Fragestellung relevante Parameterfeld hohe Prüfgeschwindigkeit, hohe dynamische Belastung und hohe Dehnrates war nur mittels des im TITK vorhandenen Hochgeschwindigkeitsprüfstandes realisierbar.

### Anwendung

Die Kenntnisse sind für Hersteller technischer Garne, Textilien und insbesondere die Konfektionäre von Airbagmodulen von entscheidender Bedeutung. Kurzfristige Anwendungen sind absehbar für weitere Sicherheitsmodule: Airbags für Fußgänger, Fahrradfahrer, Fangbänder und Sicherheitsgurte im Automobil, Fallschirmgewebe, Fallschirmleinen, Fangleinen. Mittel- und langfristig ergeben sich Anwendungen für Schutztextilien und textiles Bauen (Sonnenschutztextilien, Markisen, Zelte) und im textilen Leichtbau.

## Das Projektziel wurde erreicht

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages